



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

OSLNĚNÍ OD SVÍTIDEL S NEUNIFORMNÍ VYZAŘOVACÍ PLOCHOU

DISCOMFORT GLARE OF NON-UNIFORM LUMINAIRES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jakub Šťastný

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Škoda, Ph.D.

BRNO 2018

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

Student: Bc. Jakub Šťastný

ID: 153255

Ročník: 2

Akademický rok: 2017/18

NÁZEV TÉMATU:

Oslnění od svítidel s neuniformní vyzařovací plochou

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Literární rešerše
2. Pokusné měření
3. Subjektivní hodnocení oslnění pomocí statisticky významného vzorku populace

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Literatura je stanovena dle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 5.2.2018

Termín odevzdání: 21.5.2018

Vedoucí práce: Ing. Jan Škoda, Ph.D.

Konzultant:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Bibliografická citace práce:

ŠŤASTNÝ, J. *Oslnění od svítidel s neuniformní vyzařovací plochou*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2018. 112 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jan Škoda, Ph.D..

„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Oslnění od svítidel s neuniformní vyzařovací plochou jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.“

V Brně dne:

.....

Poděkování

Děkuji vedoucímu mé diplomové práce Ing. Janu Škodovi, Ph.D. za pedagogickou a odbornou pomoc při zpracování diplomové práce a za pomoc s organizací subjektivního hodnocení oslnění. Dále bych chtěl poděkovat společnosti Vyrtych za vylepšení svítidel. Poděkování patří i všem pozorovatelům, kteří se zúčastnili subjektivního hodnocení oslnění. Také bych zde rád poděkoval svým rodičům za vytvoření ideálních podmínek pro studium a velkou podporu při zpracování diplomové práce.

V Brně dne:

.....

ABSTRAKT

Hodnocení oslnění je v oblasti světelné techniky jeden ze základních parametrů určení kvality osvětlovacích soustav. Ve vnitřních soustavách se rušivé oslnění nejčastěji hodnotí za pomoci UGR. Metoda UGR je dobře popsána a ověřena pro uniformní zdroje oslnění. S rozvojem LED se častěji do osvětlovacích soustav dostávají neuniformní zdroje oslnění, a proto je potřeba ověřit vhodnost použití UGR i pro neuniformní zdroje, popřípadě danou metodu modifikovat, nebo nahradit jinou vhodnější metodou.

Práce se zaměřuje na metody hodnocení rušivého oslnění od svítidel s neuniformní vyzařovací plochou. Pro daný účel je v práci zahrnut rozbor oslnění, metody výpočtu oslnění a hodnocení oslnění. Dále pak rozbor a modifikace UGR pro výpočet rušivého oslnění od neuniformních zdrojů oslnění.

Praktická část práce je zaměřena na praktické měření oslnění od uniformních i neuniformních zdrojů oslnění. Pro účely vyhodnocení vhodnosti měřící metody, práce zahrnuje subjektivní hodnocení oslnění od staticky významného vzorku.

KLÍČOVÁ SLOVA: oslnění; UGR, subjektivní hodnocení oslnění; svítidla s neuniformní vyzařovací plochou, jasová analýza, HDR

ABSTRACT

In the field of lighting technology, glare evaluation is one of the basic parameters of determining the quality of lighting systems. Disturbing glare is most often evaluated by UGR in internal systems. The UGR method is well described and verified for uniform glare sources. With the development of LED, non-uniform sources of glare become involved in the lighting system. Thus verification of UGR suitability for non-uniform sources is necessary and possibly modification of the method or replacement it by another more appropriate method is required.

This diploma thesis focuses on evaluation methods of disturbing glare from luminaires with non-uniform radiation surface. For this purpose, the thesis includes glare analysis, methods of glare calculation and glare evaluation. Furthermore, the UGR analysis and modification for the calculation of disturbing glare from non-uniform glare sources are included.

The practical part is concentrated on measurement of glare from uniform and non-uniform glare sources. For the purpose of evaluating the suitability of the measurement method, the subjective evaluation of glare from a statically significant sample is included in the thesis.

KEY WORDS: glare; UGR, subjective glare evaluation; non-uniform luminaires, luminance analysis, HDR

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	8
SEZNAM TABULEK	10
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	11
1 ÚVOD.....	14
1.1 CÍLE PRÁCE	14
2 TEORIE OSLNĚNÍ	15
2.1 ZRAKOVÁ POHODA.....	16
2.2 OSLNĚNÍ.....	16
2.2.1 HODNOCENÍ PSYCHOLOGICKÉHO OSLNĚNÍ.....	17
2.2.2 HODNOCENÍ FYZIOLOGICKÉHO OSLNĚNÍ	21
2.3 MĚŘENÍ OSLNĚNÍ	22
2.3.1 SUBJEKTIVNÍ METODY MĚŘENÍ RUŠIVÉHO OSLNĚNÍ.....	22
2.3.2 OBJEKTIVNÍ METODY MĚŘENÍ OSLNĚNÍ.....	23
2.4 ASPEKTY OVLIVŇUJÍCÍ HODNOCENÍ RUŠIVÉHO OSLNĚNÍ	24
3 SVÍTIDLA S NEUNIFORMNÍ VYZAŘOVACÍ PLOCHOU	28
3.1 LED SVĚTELNÉ ZDROJE	28
3.2 NEUNIFORMNÍ VYZAŘOVACÍ PLOCHY A OSLNĚNÍ.....	28
3.3 HODNOCENÍ OSLNĚNÍ OD SVÍTIDEL S NEUNIFORMNÍ VYZAŘOVACÍ PLOCHOU METODOU UGR 30	
3.3.1 MODIFIKACE Činitele polohy.....	30
3.3.2 MODIFIKACE JASU	32
3.3.3 MODIFIKACE PLOCHY OSLŇUJÍCÍHO ZDROJE	34
4 VYHODNOCENÍ STÁVAJÍCÍHO STAVU.....	36
4.1 HODNOCENÍ OSLNĚNÍ OD SVÍTIDEL JASOVOU ANALÝZOU	36
4.2 POPIS A ZHODNOCENÍ EXPERIMENTU.....	36
5 POKUSNÉ MĚŘENÍ	40
5.1 CHARAKTERISTIKA SVÍTIDEL	40
5.2 NASTAVENÍ EXPERIMENTU	43
5.3 SIMULACE EXPERIMENTU V PROGRAMU RELUX	45
5.4 JASOVÁ ANALÝZA	47
5.4.1 POSTUP MĚŘENÍ	47
5.4.2 ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT	48
5.4.3 VYHODNOCENÍ ZPRACOVANÝCH DAT	50
6 SUBJEKTIVNÍ HODNOCENÍ OSLNĚNÍ.....	52
6.1.1 INFORMACE O POZOROVATELI – DOTAZNÍK	52
6.1.2 ZPŮSOB HODNOCENÍ RUŠIVÉHO OSLNĚNÍ, POSTUP MĚŘENÍ.....	52
6.1.3 ZPRACOVÁNÍ SUBJEKTIVNÍHO HODNOCENÍ OSLNĚNÍ	54
6.1.4 VYHODNOCENÍ ASPEKTŮ OVLIVŇUJÍCÍCH SUBJEKTIVNÍ HODNOCENÍ RUŠIVÉ OSLNĚNÍ	55

6.1.5 VYHODNOCENÍ SUBJEKTIVNÍHO HODNOCENÍ OSLNĚNÍ	58
6.2 POROVNÁNÍ SUBJEKTIVNÍHO HODNOCENÍ SE SIMULACÍ A JASOVOU ANALÝZOU.....	59
7 ZÁVĚR.....	64
7.1 NÁVRH DALŠÍHO POSTUPU	65
POUŽITÁ LITERATURA	67
SEZNAM PŘÍLOH	69

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2-1 Nákres situace pro specifikaci prostorového úhlu (převzato z literatury [1]).	15
Obr. 2-2 Náčrt průmětu svítící plošky dA_1 do roviny kolmé ke směru svítivosti dI_1 , která svírá s normálou úhel γ (převzato z literatury [1]).	16
Obr. 2-3 Znázornění geometrického uspořádání pozorovatele a oslňujícího zdroje l – vzdálenost oka pozorovatele od roviny oslňujícího zdroje, h – výška oslňujícího zdroje nad vodorovnou rovinou, a – boční vzdálenost zdroje oslnění od vertikální roviny (převzato a upraveno z literatury [1]).	18
Obr. 2-4 Nomogram Luckieshe a Gutha pro stanovení činitele polohy (převzato a upraveno z literatury [1]).	19
Obr. 2-5 Rušivé oslnění v závislosti na věku pozorovatelů. Sloupce charakterizují rozptyl pro jednotlivou věkovou skupinu. Čára ve sloupci průměrnou hodnotu (převzato a upraveno z literatury [12]).	25
Obr. 2-6 Kruithofův diagram, oblast A – pocit přesvětlení a zkreslení barev, oblast B – příjemný pocit osvětlení, oblast C – pocit nedostatku světla (převzato a upraveno z literatury [6]).	27
Obr. 2-7 Subjektivní hodnocení rušivého oslnění v závislosti na změně intenzity osvětlenosti od zdroje oslnění. Grafy A a B jsou pro věkovou skupinu 20-30 let, kde je zahrnuta změna horizontálního pozorovacího úhlu (nepřerušovaná čára - 2° , tečkovaná čára - 4° , čárkovaná čára - 8° , dlouze-čárkovaná čára - 16°). Grafy C a D ukazují hodnocení pro věkovou skupinu 55-65 let (převzato a upraveno z literatury [16]).	27
Obr. 3-1 Znázornění aspektů ovlivňujících vnímání oslnění a působících na uniformitu svítidla (převzato a upraveno z literatury [6]).	29
Obr. 3-2 Porovnání UGR a nUGR se subjektivním hodnocením (převzato a upraveno z literatury [19]).	33
Obr. 3-3 Porovnání UGR a nUGR se subjektivním hodnocením (převzato a upraveno z literatury [20]).	34
Obr. 3-4 Porovnání UGR se subjektivním hodnocením (převzato a upraveno z literatury [21]).	35
Obr. 4-1 Uspořádání pracoviště (převzato z literatury [6]).	37
Obr. 4-2 Znázornění hodnot oslnění pro různé metody určení průměrného jasu oslňujícího zdroje.	39
Obr. 5-1 Závislost výstupního světelného toku ze svítidla na nastavené hodnotě řídicího systému.	42
Obr. 5-2 Schématické znázornění situace (rozměrové kóty jsou v metrech).	43
Obr. 5-3 Schématické znázornění zadání pohledů pozorovatelů (rozměrové kóty jsou v metrech).	45
Obr. 5-4 Graf vypočítaných hodnot ze simulace.	46
Obr. 5-5 Detailní snímek svítidla - pozice pozorovatele PB, oslňující zdroj S2, náhradní teplota chromatičnosti 7000 K.	49

<i>Obr. 5-6 HDR snímek pozice pozorovatele PB, oslňující zdroj S2, náhradní teplota chromatičnosti 7000 K.</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 5-7 Graf vypočítaných hodnot z jasové analýzy a simulace experimentu.</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 6-1 Vzor tabulky pro hodnocení rušivého oslnění (X - A, B, C, D, E; Y – Horizontální směr pohledu, Zvýšený směr pohledu, Přímý pohled do svítidla; Z – Studená barva, Teplá barva).</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 6-2 Porovnání hodnocení oslnění od pozorovatelů s různým typem vlastní barvy vlasů (hodnoty jsou vždy vztažené k nejvyšší průměrné hodnotě oslnění skupiny definované zdrojem oslnění).</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 6-3 Porovnání hodnocení oslnění od pozorovatelů s různou barvou očí (hodnoty jsou vždy vztažené k nejvyšší průměrné hodnotě oslnění skupiny definované zdrojem oslnění).</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 6-4 Porovnání hodnocení oslnění od pozorovatelů s ohledem na preferovanou barvou (hodnoty jsou vždy vztažené k nejvyšší průměrné hodnotě oslnění skupiny definované zdrojem oslnění).</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 6-5 Porovnání hodnocení oslnění od pozorovatelů pro zdroje oslnění S1, S2, S3, S4 a S5 pro shodné situace hodnocení oslnění.</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 6-6 Graf závislosti vypočítaných hodnot UGR na hodnotách UGR ze subjektivního oslnění pro uniformní zdroj oslnění S1.</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 6-7 Graf závislosti vypočítaných hodnot UGR na hodnotách UGR ze subjektivního oslnění pro neuniformní zdroje oslnění S2, S3, S4 a S5.</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 6-8 Graf závislosti vypočítaných hodnot nUGR na hodnotách UGR ze subjektivního oslnění pro neuniformní zdroje oslnění S2, S3, S4 a S5.</i>	<i>63</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 2-1 Exponenty činitele oslnění a jejich autoři (převzato a upraveno z literatury [1])</i>	<i>18</i>
<i>Tab. 2-2 Ukázka doporučených mezních hodnot indexu oslnění pro různá pracoviště (převzato a upraveno z literatury [1])</i>	<i>21</i>
<i>Tab. 2-3 Stupnice pro subjektivní hodnocení oslnění dle De Boera (převzato z literatury [7])</i>	<i>22</i>
<i>Tab. 2-4 Stupnice oslnění (převzato z literatury [8])</i>	<i>23</i>
<i>Tab. 3-1 Zadání úkolů pro subjektivní hodnocení oslnění (převzato a upraveno z literatury [21])</i>	<i>35</i>
<i>Tab. 4-1 Rozložení elementů vyzařovací plochy svítidel (převzato a upraveno z literatury [6])</i>	<i>38</i>
<i>Tab. 5-1 Parametry svítidel</i>	<i>41</i>
<i>Tab. 5-2 Náhradní teplota chromatičnosti svítidel</i>	<i>42</i>
<i>Tab. 5-3 Parametry svítidel</i>	<i>44</i>
<i>Tab. 6-1 Převodní tabulka pro subjektivní hodnocení oslnění</i>	<i>55</i>
<i>Tab. 6-2 Výsledky korelační analýzy</i>	<i>60</i>
<i>Tab. 6-3 Výsledky korelační analýzy pro upravená vstupní data</i>	<i>60</i>

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

UGR	-	Jednotný systém hodnocení oslnění
LED	-	Dioda emitující světlo
Ω	sr	Prostorový úhel
A	m^2	Plocha
r	m	Poloměr koule
L_γ	$cd \cdot m^{-2}$	Jas svazků paprsků rozbíhající se v prostorovém úhlu
I_γ	cd	Svítivost svítidla
γ	°	Úhel svítivosti
SI	-	Mezinárodní systém jednotek
G	-	Činitel oslnění
L_z	$cd \cdot m^{-2}$	Jas oslňujícího zdroje
L_p	$cd \cdot m^{-2}$	Jas pozadí
P	-	Činitel polohy
a, b, c, d	-	Empiricky stanovené exponenty
l	m	Vzdálenost oka pozorovatele od roviny oslňujícího zdroje
h	m	Výška oslňujícího zdroje nad vodorovnou rovinou
a	m	Boční vzdálenost zdroje oslnění od vertikální roviny
GI	-	Index oslnění
GI_s	-	Index oslnění dle Sørensen
E_n	lx	Nepřímá osvětlenost v rovině oka pozorovatele
UGR_{small}	-	Jednotný systém hodnocení oslnění pro malé zdroje oslnění
GGR	-	Index oslnění pro velké zdroje oslnění
CC	-	Pokrytí stropu
E_i	lx	Nepřímá intenzita osvětlení v místě pozorovatele
E_d	lx	Přímá intenzita osvětlení v místě pozorovatele způsobená zdrojem oslnění
CIE	-	Mezinárodní komise pro osvětlování
S_M	-	Index omezujícího oslnění
S_H	-	Činitel omezujícího oslnění
L_{qz}	$cd \cdot m^{-2}$	Závojevý jas oslňujícího zdroje
L_{avg}	$cd \cdot m^{-2}$	Průměrný jas
L_{max}	$cd \cdot m^{-2}$	Maximální jas

L_{min}	$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$	Minimální jas
p'	-	Upravený činitel polohy
BCD	-	Hranice mezi zrakovou pohodou a rušením
N	-	Počet prvků v sumě umocněných druhou mocninou
L_{eff1}	$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$	Efektivní oslňující jas s váhovým faktorem
$I_{i,j}$	cd	Svítivost pixelu na pozici i, j
A_{eff}	m^2	Efektivní oblast
WF	-	Váhový faktor
$L_{i,j}$	$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$	Jas pixelu na pozici i, j
U	-	Uniformita
$L_{geomean}$	$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$	Geometrickým průměr jasů jednotlivých
ILMD	-	Zobrazovací přístroj pro měření jasu
R	-	Korelace výsledků
Ra	-	Index podání barev
$S1$	-	Zdroj oslnění 1.
$S2$	-	Zdroj oslnění 2.
$S3$	-	Zdroj oslnění 3.
$S4$	-	Zdroj oslnění 4.
$S5$	-	Zdroj oslnění 5.
PA	-	Pozice pozorovatele A
PB	-	Pozice pozorovatele B
PC	-	Pozice pozorovatele C
PD	-	Pozice pozorovatele D
PE	-	Pozice pozorovatele E
$L_{z_50_cs}$	$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$	Průměrný jas zdroje oslnění nasnímaný normálním objektivem
Ω_{50_cs}	sr	Prostorový úhel svítidla určený ze snímku nasnímaného normálním objektivem.
$L_{z_50_pj}$	$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$	Průměrný jas zdroje oslnění nasnímaný normálním objektivem s detekcí svítících ploch.
Ω_{50_pj}	sr	Prostorový úhel svítidla určený ze snímku nasnímaného normálním objektivem s detekcí svítících ploch
L_{z_FY}	$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$	Průměrný jas zdroje oslnění nasnímaný širokoúhlým objektivem
Ω_{FY}	sr	Prostorový úhel svítidla určený ze snímku nasnímaného

		širokoúhlým objektivem
UGR _{50_cs}	-	UGR učené ze vstupních hodnot Ω_{50_cs} a Ω_{50_cs}
UGR _{50_pj}	-	UGR učené ze vstupních hodnot Ω_{50_pj} a Ω_{50_pj}
UGR _{50_pj_M}	-	UGR učené ze vstupních hodnot Ω_{50_cs} a Ω_{50_pj}
UGR _{FY}	-	UGR učené z HDR snímku
UGR _P	-	UGR vypočítané ze subjektivního hodnocení
UGR _R	-	UGR určené ze simulace
HP	-	Horizontální směr pohledu
ZP	-	Zvýšený směr pohledu
PS	-	Pohled přímo do zdroje oslnění

1 ÚVOD

Osvětlovací technika je nedílnou součástí života člověka. Každý den ji využíváme ve všech oblastech naší činnosti. Od brzkých ranních hodin, kdy si rozsvítíme v koupelně, přes jízdu autem, kdy máme zákonem nařízeno svítit po celý den, až po rozsvícenou lampičku v nočním čase, bez které bychom si nemohli číst naši oblíbenou knihu o osvětlovací technice. Neméně důležité je využití osvětlovací techniky při naší pracovní činnosti. Pokud budeme brát v potaz vyspělou civilizaci, kde máme dostatek elektrické energie, můžeme říct, že značnou část našeho běžného pracovního dne strávíme pod umělým osvětlením. Pro některá povolání se může jednat i o celodenní pobyt pod umělým osvětlením. Proto je dobré si uvědomit, že správný výběr a kvalita osvětlení má vliv na celkový fyzický i psychický stav člověka.

V průběhu zkoumání osvětlovací techniky a osvětlování se stanovilo několik ukazatelů, které hodnotí kvalitu osvětlení. Jedním z nejdůležitějších ukazatelů je oslnění. Pokud bude světelná soustava oslňovat, může dojít nejen ke špatnému psychickému stavu člověka, ale i ztrátám na majetku a v nejhorším případě i na životech. Například pokud budeme uvažovat o osvětlení silnic, může dojít při oslnění řidiče k dopravní nehodě. Proto je důležité umět správně posoudit oslnění od svítidel. Problematikou oslnění se zabývala spousta studií a pro klasické světelné zdroje je oslnění dobře popsané, měřitelné a hodnotitelné. Problém nastává u LED světelných zdrojů, které jsou mladé v porovnání s klasickými zdroji a zatím ne tak důkladně prostudované.

LED zdroje vykazují rozdílné chování oproti klasickým světelným zdrojům, a to nerovnoměrné rozložení jasu na povrchu vyzařovací plochy. Nastalý jev popisujeme slovem neuniformita. Běžné hodnocení oslnění za pomoci metody UGR nám v daném případě nestačí. Je potřeba vytvořit, nebo modifikovat stávající metody hodnocení oslnění s ohledem na neuniformní vyzařovací plochy.

1.1 Cíle práce

Cílem dané práce je vytvoření teoretických podkladů a navrhnutí metodiky k subjektivnímu zhodnocení oslnění od svítidel s neuniformní vyzařovací plochou. Dalším cílem práce je provedení pokusného měření oslnění na vybraných uniformních i neuniformních zdrojích oslnění. Dále uskutečnění subjektivního měření oslnění od statisticky významného vzorku populace a v závislosti na něm provedení vyhodnocení vhodnosti použité měřicí metody.

2 TEORIE OSLNĚNÍ

Pro přesnou specifikaci oslnění je potřeba si charakterizovat několik základních pojmů z oblasti světelné techniky. Jedná se o prostorový úhel, svítivost a jas. Dané veličiny budou dále použity ve vztazích pro určení oslnění.

Jednou za základních světelně technických veličin je prostorový úhel. Ten je charakterizován jako část prostoru, který je vymezen kuželovou plochou, jenž na kouli o poloměru r vytvoří plochu A . Vrchol daného kužele leží ve středu koule o poloměru r . Popis dané situace je na *Obr. 2-1* [1]. Velikost prostorového úhlu se vypočítá

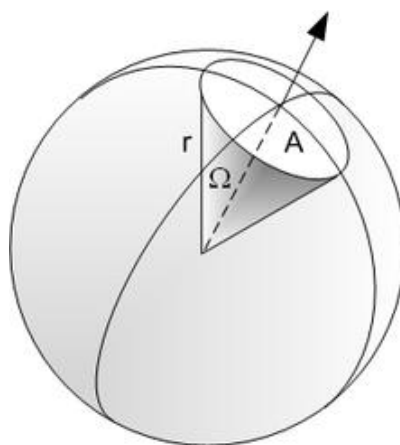
$$\Omega = \frac{A}{r^2} \quad (\text{sr}; \text{m}^2, A) \quad (2.1)$$

kde je

Ω prostorový úhel ve steradiánech (sr),

A plocha vytvořená kuželem představující daný prostorový úhel (m^2),

r poloměr myšlené koule (m) [1].



Obr. 2-1 Nákres situace pro specifikaci prostorového úhlu (převzato z literatury [1]).

Další důležitou veličinou pro určení oslnění je jas. Na jas bezprostředně reaguje zrakový orgán. Obecně se určuje prostorovou a plošnou hustotou světelného toku přenášeného paprsky. V případě, že budeme uvažovat svítidlo daných rozměrů, můžeme k vyjádření jasu v určitém směru použít vztah

$$L_\gamma = \frac{dI_\gamma}{dA_1 \cdot \cos \gamma} \quad (\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}; \text{sr}, \text{cd}, \text{m}^2) \quad (2.2)$$

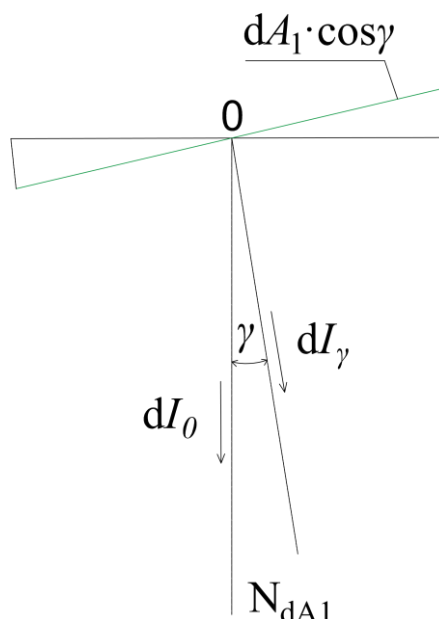
kde je

L_γ jas svazků paprsků rozbíhajících se v prostorovém úhlu ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$),

dI_γ svítivost svítidla (cd),

dA_1 vyzařovací plocha svítidla (m^2),

γ úhel svítivosti od normály N_{dA_1} -znázorněný na *Obr. 2.1* [1].



Obr. 2-2 Náčrt průmětu svítící plošky dA_1 do roviny kolmé ke směru svítivosti dI_γ , která svírá s normálou úhel γ (převzato z literatury [1]).

Ve vztahu 2.1 se vyskytuje světelně technická veličina svítivost, ta charakterizuje, kolik světelného toku vyzaří světelný zdroj v prostorovém úhlu do určitého směru. Její jednotkou je kandela (cd). Kandela patří do základních jednotek SI. Svítivost se určuje výhradně pro bodové zdroje, to jsou zdroje zanedbatelných rozměrů [1].

2.1 Zraková pohoda

Lidské zrakové ústrojí úzce spolupracuje s centrální nervovou soustavou, zrakové vnímání má tedy velký význam na celkový stav člověka. Je tedy velmi důležité vytvořit v prostoru pobytu osob vhodné světelné podmínky odpovídající typu a povaze pobytu. Takové podmínky charakterizujeme pojmem světelné mikroklima. To je tvořeno celkovou geometrií daného prostoru, typem osvětlovacích těles, příspěvkem denního osvětlení, kvalitou celkového návrhu osvětlení, který zahrnuje intenzitu osvětlení, jasové rozložení a celkovou rovnoměrnost osvětlení. Dále pak záleží na celkové koncepci rozmístění potřebného zařízení a barevné úpravě prostoru i zařízení.

Pokud budou výše uvedené podmínky ideální, bude mít světelné mikroklima pozitivní vliv na psychologický stav člověka. Takový stav nazýváme zrakovou pohodou. Je to stav, při kterém zrakové ústrojí nejen správně plní svou funkci, kterou je kvalita a ostrost vidění, ale má i celkový pozitivní vliv na psychiku a celkovou výkonnost. Opakem zrakové pohody je zraková nepohoda, ta má vliv na zhoršení vidění, ale projevuje se záporně i na náladě a kondici člověka. Jedním ze základních parametrů, který způsobuje zrakovou nepohodu, je oslnění [1].

2.2 Oslnění

Při oslnění je omezen nebo znemožněn přístup a příjem světelné informace do oka, to je způsobeno rozdílnými nebo velkými jasy, které jsou v zorném poli oka. Dále může být způsobeno z prostorových nebo časových kontrastů jasů, které výrazně překračují meze přizpůsobivosti zraku. Oslnění se charakterizuje jako nepříznivý stav zraku v případě, že sítnice je vystavena vyššímu jasů, než na který je oko adaptováno.

Oslnění dělíme dle jeho vzniku na oslnění přímé a oslnění odrazem. U přímého oslnění dochází k nežádoucímu jevu vysokým jasem osvětlovací soustavy nebo jasem způsobeným odrazem od okolních ploch a objektů. Naproti tomu při oslnění odrazem nastává nežádoucí jev přímo na pozorovaných objektech, a to na jejich lesklých plochách. Dalším zvláště nepříjemným typem oslnění je přechodové oslnění. Oproti předchozím typům se jedná o krátkodobé oslnění. Rychlost odeznění je určena dobou, za niž se dokáže zrakové ústrojí přizpůsobit skokové změně jasu, například při náhlém přechodu z tmavého prostředí do světlejšího. Přechodové oslnění je zvláště nebezpečné v dopravě. Atypickým případem je závojové oslnění. To nastává, sledujeme-li pozadí s nižším jasem, před nímž je úsek s vyšším jasem. Pro světelnou techniku je ale nejdůležitější oslnění kontrastem nazývané relativní oslnění. To vzniká, pokud se v zorném poli oka vyskytnou jasy, které jsou mnohem větší, než je jas, na který je zrak adaptován. Oslnění kontrastem dělíme dle psychofyzilogických následků:

1. oslnění psychologické – pozorovatelné nebo rušivé
2. oslnění fyziologické – omezující nebo oslepující

U psychologického oslnění dochází k rušivému jevu, který odpoutává pozornost pozorovatele od požadovaného zrakového úkolu. U pozorovatele vzrůstá únava a dochází k zrakové nepohodě. Nastalý pocit je subjektivní a pozorovatel si většinou ani neuvědomuje, že jeho zhoršený psychický stav zavinuje oslnění. Změny zrakových funkcí při psychologickém oslnění nejsou měřitelné.

Horším případem oslnění je fyziologické oslnění. Při omezujícím oslnění dochází k zhoršení zrakového vjemu, snižuje se kontrastní citlivost a zraková ostrost. Výhodou je, že změna zrakových funkcí při fyziologickém oslnění se dá objektivně zjistit měřením. Mezním případem oslnění je oslepující oslnění nazývané také absolutním oslněním. Jak už vyplývá z názvu, dochází k úplnému oslepení vlivem oslnění, a tedy k znemožnění zrakové činnosti [1].

2.2.1 Hodnocení psychologického oslnění

Fyziologické oslnění by se u světelných soustav nemělo vůbec vyskytovat. Proto se v první řadě zaměříme na oslnění psychologické. Protože se jedná o subjektivní pocit, vychází se ze stanovených postupů, vytvořených na základě pozorování a hodnocení modelových situací významného vzorku populace.

2.2.1.1 Hodnocení psychologického oslnění pro jeden oslňující zdroj

Pro výpočet oslnění pro jeden oslňující zdroj se vycházelo z předpokladu, že stupeň oslnění bude tím větší, čím větší bude rozdíl mezi jasem oslňujícího zdroje a jasem pozadí (adaptační jas). Dále pak se oslnění bude zvětšovat i s rostoucím prostorovým úhlem. Čím větší bude prostorový úhel, tím větší bude přímá složka působící na pozorovatele, a tím víc bude oslněn. Vztah pro jeden oslňující zdroj je

$$G = \frac{L_z^a \cdot \Omega^b}{L_p^c \cdot P^d} \quad (-; -, \text{cd} \cdot \text{m}^2, \text{sr}, \text{cd} \cdot \text{m}^2) \quad (2.3)$$

kde je

- G činitel oslnění (-),
 L_z jas oslňujícího zdroje ($\text{cd} \cdot \text{m}^2$),
 L_p jas pozadí ($\text{cd} \cdot \text{m}^2$),
 Ω prostorový úhel (sr),

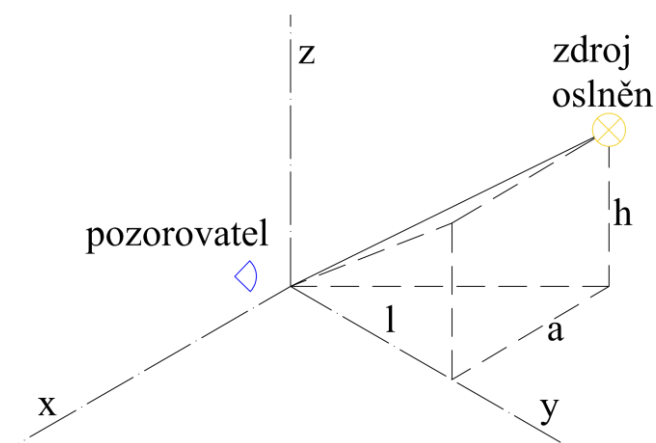
P činitel polohy (-),

a, b, c, d empiricky stanovené exponenty, liší se dle různých studií a autorů, příklady autorů a udávaných hodnot exponentů jsou uvedeny v Tab. 2-1[1].

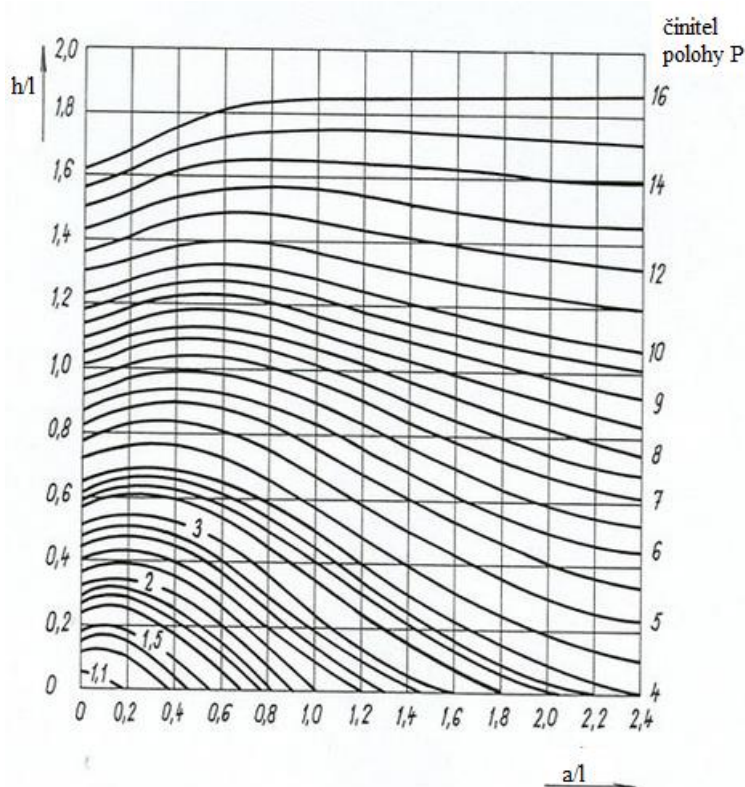
Tab. 2-1 Exponenty činitele oslnění a jejich autoři (převzato a upraveno z literatury [1])

autor	exponent			
	$a (-)$	$b (-)$	$c (-)$	$d (-)$
Netušil	1	0,4	0,5	1
Harrison	2	1	0,6	1
Arndt-Bodmann-Muck	1	0,33	0,66	1
Hopkinson	1,6	0,8	1	1,6
Sørensen	2	1	1	2

Ve vztahu (2.1) je zahrnut činitel polohy, ten respektuje umístění oslňujícího zdroje a pozorovatele, jak je vyobrazeno na Obr. 2.2. Nejčastěji je určován pomocí diagramu Luckieshe a Gutha, který je uveden na Obr. 2.3[1].



Obr. 2-3 Znárodnění geometrického uspořádání pozorovatele a oslňujícího zdroje l – vzdálenost oka pozorovatele od roviny oslňujícího zdroje, h – výška oslňujícího zdroje nad vodorovnou rovinou, a – boční vzdálenost zdroje oslnění od vertikální roviny (převzato a upraveno z literatury [1]).



Obr. 2-4 Nomogram Luckieshe a Gutha pro stanovení činitele polohy (převzato a upraveno z literatury [1]).

2.2.1.2 Hodnocení psychologického oslnění pro více oslňujících zdrojů

Pro stanovení oslnění od více oslňujících zdrojů můžeme jednotlivé vypočtené hodnoty činitelů oslnění sčítat. Vhodnější pro oslnění od více zdrojů je použít logaritmické měřítko, protože dostaneme objektivnější stupnici pro určení subjektivní změny pocitů pozorovatelů. Hodnoty činitele oslnění v daném případě označujeme jako index oslnění zkráceně GI (glare index). Posun oslnění o jednu hodnotu v logaritmickém měřítku znamená výraznou změnu pocitu oslnění u pozorovatelů [1].

V rámci sjednocení hodnocení oslnění přijala Mezinárodní komise pro osvětlování jednotný systém hodnocení oslnění UGR (Unified Glare Rating). Ten se určuje za pomoci Sørensova vzorce

$$GI_s = UGR = 8 \log \left| \frac{1}{4} \sum_{i=1}^n \frac{L_{zi}^2 \cdot \Omega_i}{L_p \cdot P_i^2} \right| \quad (-; -; \text{cd} \cdot \text{m}^2, \text{sr}, \text{cd} \cdot \text{m}^2, -) \quad (2.4)$$

kde je

GI_s index oslnění dle Sørensen (-),

UGR jednotný systém hodnocení oslnění Unified Glare Rating (-),

L_{zi} jas oslňujícího i -tého zdroje ($\text{cd} \cdot \text{m}^2$),

L_p jas pozadí ($\text{cd} \cdot \text{m}^2$),

Ω_i prostorový úhel i -tého zdroje (sr),

P_i činitel polohy (-) [1, 2].

Jas pozadí se pro výpočet UGR určí z vertikální nepřímé osvětlenosti v rovině oka pozorovatele

$$L_p = \frac{1}{\pi} \cdot E_n \quad (\text{cd} \cdot \text{m}^2; \text{lx}) \quad (2.5)$$

kde je

L_p jas pozadí ($\text{cd} \cdot \text{m}^2$),

E_n nepřímá osvětlenost v rovině oka pozorovatele (lx) [2].

Metodu UGR lze využít pouze v případě, že světelné paprsky z oslňujícího zdroje dopadají na oko pozorovatele z horního poloprostoru. Pro případ, že paprsky dopadají z dolního poloprostoru, nelze definovat činitele polohy, a tedy určit hodnotu UGR. Dalším omezením je, že vztah (2.3.) není vhodný k výpočtu oslnění od bodových zdrojů. K dosažení správných výsledků je třeba, aby byl prostorový úhel, ve kterém lze zdroj oslnění pozorovat, v rozmezí od 0,1 sr do 0,0003 sr. Dané prostorové úhly odpovídají svítidlům, která mají velikost vyzařovací plochy od 0,005 m^2 do 1,5 m^2 . Z uvedených rozměrů vyplývá, že metoda nebude použitelná nejen pro bodové zdroje, ale i pro světelné stropy a nepřímé oslnění [3, 4, 5].

Metoda UGR je příliš benevolentní pro svítidla s velkou vyzařovací plochou, a naopak přísná pro svítidla s malou vyzařovací plochou. V případě že chceme použít metodu UGR na svítidla s malou vyzařovací plochou, menší než 0,005 m^2 , musíme použít upravený tvar rovnice. Úpravy vznikly na základě výzkumu Paula a Einhorna. Ve výzkumu experimentálně stanovili průmětnou vyzařovací plochu pro malé zdroje oslnění na 0,005 m^2 . Ve výsledném vztahu, který vyplývá ze vztahu 2.3, je jas oslňujícího zdroje a prostorový úhel nahrazen svítivostí zdroje a stanovenou plochou

$$UGR_{small} = 8 \log \left| \frac{1}{4 \cdot L_p} \sum_{i=1}^n 200 \cdot \frac{I_i^2}{r_i^2 \cdot P_i^2} \right| \quad (-; \text{cd} \cdot \text{m}^2, \text{cd}, \text{m}, -) \quad (2.6)$$

kde je

UGR_{small} jednotný systém hodnocení oslnění pro malé zdroje oslnění (-),

I_i svítivost oslňujícího i-tého zdroje (cd),

L_p jas pozadí ($\text{cd} \cdot \text{m}^2$),

r_i vzdálenost i-tého zdroje oslnění od pozorovatele (m),

P_i činitel polohy (-) [4, 6].

Pokud bude mít zdroj oslnění větší plochu než 1,5 m^2 CIE doporučuje používat modifikovaný vztah pro UGR ve tvaru

$$GGR = \left(\frac{0.18}{CC} - 0,18 \right) \cdot 8 \log \left(\frac{0,785}{E_i} \cdot \frac{L^2 \cdot \Omega}{P^2} \right) + \left(0,18 - \frac{0.18}{CC} \right) \cdot 8 \log \frac{2 \cdot \left(1 + \frac{E_d}{220} \right)}{(E_i + E_d) \cdot \left(\frac{L^2 \cdot \Omega}{P^2} \right)} \quad (-; -, \text{lx}, \text{cd} \cdot \text{m}^2, \text{sr}, -, \text{lx}) \quad (2.7)$$

kde je

GGR index oslnění pro velké zdroje oslnění (-),

CC pokrytí stropu, nebo poměr promítané plochy zdroje směrem ke světelné oblasti do oblasti osvětlené jedním zdrojem (oblast místnosti vydělená počtem zdrojů) (-),

L jas oslňujícího zdroje ($\text{cd} \cdot \text{m}^2$),

Ω prostorový úhel zdroje (sr),

- E_i nepřímá intenzita osvětlení v místě pozorovatele (lx),
 E_d přímá intenzita osvětlení v místě pozorovatele způsobená zdrojem oslnění (lx),
 P činitel polohy (-).

V části dokumentu CIE, kde je popsán vztah pro plošně velké zdroje oslnění, nejsou odkazy na žádné výzkumy, takže není jasné, jak byl vzorec přesně odvozený. Vzorec je na obou koncích koherentní, to znamená, že dostaneme stejné výsledky jak pro normální svítidla s použitím základního vztahu pro UGR, tak pro svítivé stropy [10].

V praxi se využívají hodnoty činitele oslnění 10, 13, 16, 19, 22, 25 a 28. S tím, že čím větší je hodnota indexu oslnění, tím více je člověk oslněn. Pro běžného pozorovatele je patrná změna o tři stupně hodnoty indexu oslnění, menší změna, například o jeden stupeň, není dle statistických výzkumů pro oko pozorovatele zřetelná. Každý člověk může oslnění vnímat jinak, proto daná stupnice neplatí pro každého pozorovatele, ale bude specifikovat skupinu pozorovatelů. Daná stupnice se využívá při návrhu osvětlovacích soustav, kde jsou požadavky pro jednotlivá pracoviště a typy činnosti udávány normou. Pro představu jsou uvedeny v Tab 2.2. jednotlivé typy činností a jejich doporučená hodnota indexu oslnění UGR [2].

Tab. 2-2 Ukázka doporučených mezních hodnot indexu oslnění pro různá pracoviště (převzato a upraveno z literatury [1])

Pracoviště		UGR (GIs)
pracoviště s počítači		16
kanceláře, dozorní		19
průmyslová pracoviště	jemná výroba	22
	běžná výroba	25
	hrubá výroba	28

2.2.2 Hodnocení fyziologického oslnění

Fyziologické oslnění vyvolá uvnitř oka určitý rozptyl světla, který se dá popsat hodnotou ekvivalentního závoje jas. Ten představuje jas, o který je potřeba změnit adaptační jas, tak aby se přešlo ze stavu bez oslnění do prahu rozlišitelnosti jasu zjištěného při oslnění. Předpokládáme, že se jedná o lineární závislost prahu rozlišitelnosti jasu předmětu na adaptačním jas. Mezinárodní komise pro osvětlování CIE doporučuje hodnotit fyziologické oslnění indexem omezujícího oslnění S_M ve tvaru

$$S_M = (S_H - 1) \cdot 10^3 = \frac{L_{qz}}{L_{p1}} \cdot 10^3 \quad (-; -, \text{cd} \cdot \text{m}^2, \text{cd} \cdot \text{m}^2) \quad (2.8)$$

kde je

- S_M index omezujícího oslnění (-),
 S_H činitel omezujícího oslnění (-),
 L_{qz} závoje jas oslnujícího zdroje ($\text{cd} \cdot \text{m}^2$),
 L_{p1} adaptační jas ($\text{cd} \cdot \text{m}^2$),

2.3 Měření oslnění

Pro měření psychologického rušivého oslnění se nejčastěji využívají subjektivní metody hodnocení vycházející z experimentálních pokusů provedených na určitém vzorku populace. Některé z metod nám udávají výsledek, který lze přímo aplikovat na hodnocení oslnění, popsané výše, jiné mají pouze srovnávací charakter. U subjektivních metod jsou výsledky ovlivněny celkovým psychickým stavem zkoumaných subjektů, proto se pro zpřesnění výsledku používají objektivní metody měření oslnění [7].

2.3.1 Subjektivní metody měření rušivého oslnění

Vzájemný vztah mezi předpokládanou hodnotou úrovně oslnění a subjektivním hodnocením jedince nebo skupiny lidí má nízkou korelaci. To je následek vysoké proměnlivosti subjektivní odezvy na rušivé oslnění. Proto je důležité stanovit vhodnou hodnotící metodu, která bude nejpřesnější pro danou situaci. Nejčastěji jsou využívány čtyři subjektivní metody a to:

1. Hodnocení za pomoci sémantické diferenciální stupnice
2. Párová srovnávací metoda
3. Metoda prostého označení
4. Kategorizace rušení

2.3.1.1 Hodnocení za pomoci sémantické diferenciální stupnice

Je to metoda, která je založena na subjektivním vnímání oslnění tazatelů, míra oslnění je zjišťována pomocí dotazníku. Respondenti dle pocitu oslnění vyberou z dané stupnice oslnění hodnotu, která nejvíce odpovídá jejich stavu. Většina studií používá sedmi bodovou nebo devíti bodovou stupnici. Jedna z nejvyužívanějších stupnic pro subjektivní hodnocení oslnění v exteriéru byla devítibodová de Boerova stupnice, uvedena v Tab. 2-3. Ta byla předmětem zkoumání ve studii Gellantlyho a Weitrauba. Výzkumem se přišlo na to, že většina populace připisuje horšímu oslnění vyšší číslo, což je opak de Boerovy stupnice, kde nejnižší hodnota popisuje nejhorší oslnění. Dále se přišlo na to, že pro respondenty je přijatelnější, pokud všechny číselné hodnoty mají přiřazeno slovní pojmenování.

Tab. 2-3 Stupnice pro subjektivní hodnocení oslnění dle De Boera (převzato z literatury [7]).

Hodnota oslnění	Stav oslnění
1	Nesnesitelné
2	
3	Rušivé
4	
5	Právě přijatelné
6	
7	Vyhovující
8	
9	Neznatelné

Pro hodnocení oslnění v interiérech je nejvhodnější sedmibodová stupnice sestavená na základě Hopkinsonova kritéria, ta je založena na Sørensově metodě hodnocení oslnění, kde každá číselná hodnota má přiřazené slovní pojmenování stavu oslnění. Stupnice je uvedena v *Tab. 2-4* [7,8].

Tab. 2-4 Stupnice oslnění (převzato z literatury [8]).

Stav oslnění	Hodnota UGR
Neznatelné	10
Právě znatelné	13
Znatelné	16
Právě přijatelné	19
Nepřijatelné	22
Právě nepříjemné	25
Nepříjemné	28

2.3.1.2 Párová srovnávací metoda

Metoda využívá k určení míry oslnění srovnání oslnění mezi dvěma oslňujícími podněty. Zkoumané subjekty indikují, který ze dvou podnětů současně působících v jejich zorném poli, jim způsobuje větší míru nepohodlí, při pohledu na fixační bod. Dosažené výsledky mají menší variabilitu než u předchozí metody. Nevýhodou dané metody je, že výsledkem metody je určitý souhrn srovnání různých podnětů, na rozdíl od předchozí metody, kde dosáhneme přímého výsledku hodnocení podnětu na stupnici. Pro zlepšení metody se používá číselná stupnice k lepšímu určení rozdílného subjektivního pocitu z podnětů. Další nevýhodou je velké množství možných podnětů [6,7].

2.3.1.3 Metoda prostého označení

V metodě prostého označení subjekty pozorují určitou změnu světelného podnětu do doby, než nebude splněno předem zadané kritérium. Příkladem může být plynulé zvyšování svítivosti zdroje, do chvíle, než nastane u pozorovatele subjektivní pocit nepohodlí. Metoda má vysokou variabilitu. Každý ze subjektů si nastavuje dané proměnné sám. Další nevýhodou je, že zadaná kritéria musí být přesně definována a popsána a musí být podána všem pozorovatelům stejně, aby došlo k správnému pochopení zkoumané situace. V opačném případě může každý subjekt hledat jiný jev a může docházet ke zkreslení výsledků. [6,7].

2.3.1.4 Kategorizace rušení

Poslední metoda vyhodnocuje subjektivní pocit rušivého oslnění na základě předem stanovených otázek. Skupina subjektů je například tážána, zda světlený zdroj oslňuje. Podle počtu kladných a záporných odpovědí se získá hrubý odhad o povaze oslnění [6,7].

2.3.2 Objektivní metody měření oslnění

Objektivní metody se snaží o určení míry oslnění za pomoci fyziologických reakcí na rušivé oslnění u zkoumaných subjektů. Přesná jednotná metodika zatím není určena, ale výzkumy

prokázaly, že rušivé oslnění má za následek změny na zornici pozorovatele a dále může odezva na oslnění vyvolat stahy v oblasti obličejových svalů, mrkání, mračení a slzení.

V reakci na rušivé oslnění dochází ke změnám na zornici, ta se se stoupajícím oslněním zužuje. Funkce dané změny je redukovat množství světla dopadajícího do oka pozorovatele. Nastalý jev zornice se popisuje pojmem hippus. Popsal ho ve svých studiích Hopkinson, ale nepovedlo se mu ho reálně prokázat. Spojitost mezi zúžením zornice a zvyšujícím se oslněním prokázal ve své studii Stingham. Dalším krokem byla studie vypracována LIN Y (2015). Ta prokázala vzájemný vztah mezi subjektivními odpověďmi na hodnotu oslnění a relativní velikostí zornice. Bylo dosaženo korelačního koeficientu - 0,61. Studie se dále zabývá vztahem mezi průměrnou rychlostí pohybu očí a subjektivním hodnocením. Výzkumem za pomoci elektrookulogramu se prokázalo, že se stoupajícím oslňujícím stimulem roste i průměrná rychlost pohybu očí.

Další možností, jak objektivně měřit oslnění, je využití elektromyografie. To je metoda zaznamenání svalové aktivity za pomoci elektrod. Protože rušivé oslnění zapříčiňuje kontrakce nebo křeče v obličejových svalech, je možné dané jevy zaznamenat. Ve studii Bermana z roku 1994 byla měřena aktivita svalů orbicularis oculi (zodpovědných za zavření očí) při rušivém oslnění. Zjištěné výsledky dobře korelovaly se subjektivním vyhodnocením. Autoři však uvádí, že dané svaly nejsou zodpovědné za vznik oslňujícího vjemu, pouze na něj reagují. To je shodné s předešlou metodou.

Problémem objektivních metod je, že přesně neznáme základní mechanismy, které vedou k vnímání rušivého oslnění, ale pouze jeho následky. V případě, že bychom je znali, mohly by být vytvořeny přesnější metody měření [6,7,10].

2.4 Aspekty ovlivňující hodnocení rušivého oslnění

Základním problémem subjektivních metod je nízká korelace mezi vypočtenými hodnotami rušivého oslnění a hodnocením subjektů. Subjektivní studie rušivého oslnění prokázaly velký rozdíl v odezvě subjektů. Například ve studii Manbeho (1976), kde třicet šest pozorovatelů hodnotilo čtyřicet dva instalací, se uvádí korelace 0,63. Ve studii byly výpočty provedeny za pomoci metody VCP. Pozdější studie, které využívají k hodnocení metodu UGR, dosahují lepších výsledků, proto je hodnocení UGR nejvyužívanějším hodnocením rušivého oslnění. Nízká korelace může mít příčiny jak na straně získaných hodnot rušivého oslnění za pomoci výpočtu, tak na straně hodnocení oslnění od subjektů (procedurální faktory, psychologické faktory, demografické proměnné).

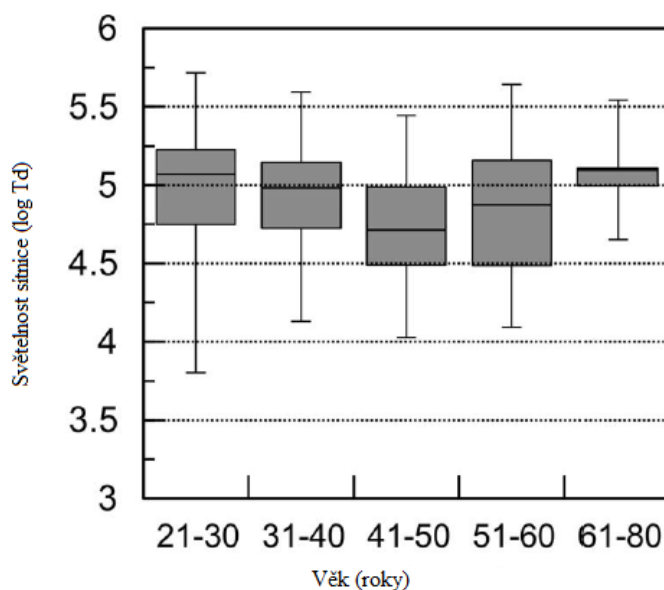
Pro hodnocení oslnění výpočtem vycházíme ze vztahů uvedených v předchozí kapitole. Vzorce obsahují prostorový úhel, činitele polohy, jas oslňujícího zdroje a jas pozadí. Z uvedených veličin má na nízkou korelaci nejvyšší vliv jas oslňujícího zdroje, je to dáno jeho určením. Hodnoty jasu jsou určovány z fotometrických měření svítidel, které vycházejí z měření osvětlenosti, a zpětně se z nich dopočítává jas. Pro uniformní svítidla je to dostačující postup, ale pro svítidla s neuniformní vyzařovací plochou je daný postup nedostačující. Problém nastává hlavně u výpočetních programů, které využívají hodnoty rozložení jasu svítidla, které vycházejí z průměrného měření osvětlení. V případě, že budeme zjišťovat jas měřením na již vzniklé instalaci, můžeme za pomoci moderních měřících metod dostat mnohem přesnější informace o jasu svítidla, a tím zlepšit korelaci výsledků.

Procedurální faktory mohou mít velký vliv na korelaci výsledků. Studie prokazují, že různé pokyny způsobují rozdílné reakce na oslnující podnět, a tedy i rozdílné vyhodnocení rušivého oslnění u subjektů. Odpověď subjektů závisí na rozsahu prezentovaných podnětů, době trvání podnětů a době expozice. Některé studie se zabývaly vlivem přítomnosti vizuálního úkonu, bylo zjištěno, že při vizuálním úkonu subjekty vyhodnocují oslnění jinak, než při samostatném zkoumání oslnujícího podnětu. Vliv vizuálního úkonu se dá zahrnout i do psychologických faktorů.

Studie, kterou zpracoval Sivak a Flannagan (1991), prokazuje, že obtížnost úkonu má vliv na vnímání rušivého oslnění. Dalšími psychologickými faktory, které mohou snižovat korelaci výsledků, jsou nálada, únava, stres a úroveň úzkosti. Popsané faktory souvisí se zrakovou pohodou. Subjekty mohou být důsledkem psychologických faktorů citlivější, nebo tolerantnější při určování hodnoty oslnujícího podnětu, a tím zkreslovat výsledky měření.

Další, co může mít vliv na hodnocení oslnění, jsou demografické proměnné. Jednou z nich je věk pozorovatelů. Starší pozorovatelé by měli mít nižší prahové hodnoty jasu, jak ve své studii prokazuje Bennett (1977). To ale nepotvrzuje výzkum uvedený ve studii, kterou zpracovali Gary Bargary, Yingxin Jia a John L. Barbur (2014). Výzkumu se účastnilo 28 mužů a 22 žen v pěti věkových kategoriích. Výzkum se zakládá na působení oslnujícího podnětu na světelnosti sítnice a velikosti průměru pupilů. Na Obr 2-5 je uveden graf, který ukazuje, že věk nemá velký vliv na prahové hodnoty oslnění. Studie se dále zabývá účinkem pohlaví na nepříjemné prahové hodnoty oslnění. Výsledek je stejný jako u vlivu věku. Práce zkoumá reakci na prahové hodnoty oslnění objektivní metodou [10, 12].

Bennett dále popsal malou korelaci mezi vnímáním rušivého oslnění, barvou očí a mezi vnitřní a venkovní situací. Pozorovatel se světlou barvou očí by měl být více citlivý na rušivé oslnění než pozorovatel s tmavou barvou očí. Dále se studie zaměřuje na vztah mezi pohlavím, barvou vlasů, korekcí zraku, druhem zaměstnání, slunečností obytné komunity a vnímáním rušivého oslnění. Mezi popsánymi aspekty nebyl nalezen ani popsán žádný výrazný vztah [13].



Obr. 2-5 Rušivé oslnění v závislosti na věku pozorovatelů. Sloupce charakterizují rozptyl pro jednotlivou věkovou skupinu. Čára ve sloupci průměrnou hodnotu (převzato a upraveno z literatury [12]).

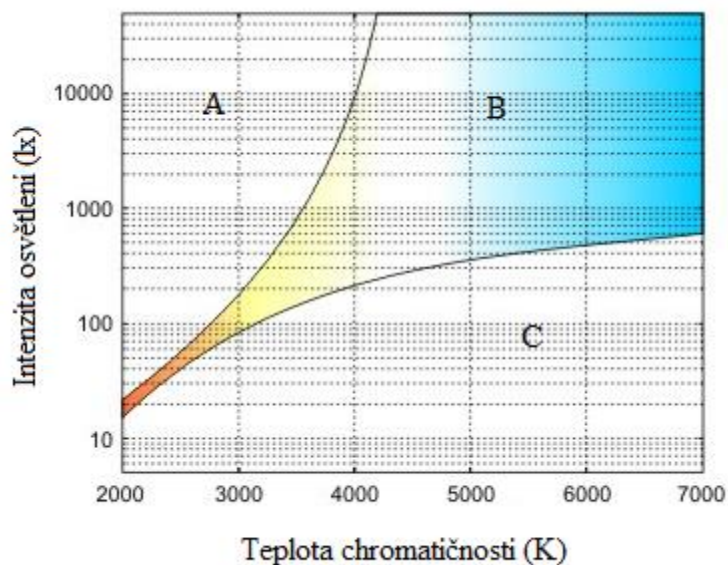
Samostatnou skupinou, která může mít vliv na hodnocení rušivého oslnění, jsou vady oka. Vady oka souvisí se zrakovou pohodou. Pozorovatel může mylně vyhodnotit stav nepohody způsobený vadou oka jako součást pocitu rušivého oslnění, nebo naopak může mít vlivem vady nižší citlivost na oslnění. Nejčastější je refrakční vada, při ní se paprsky dopadající do oka sbíhají buď před sítnicí (krátkozrakost), nebo za sítnicí (dalekozrakost). Krátkozrakosti trpí okolo 30 % lidské populace, dalekozrakostí něco kolem 10 %. U opticky normálního oka se mohou vyskytovat i jiné chyby, a to sférická chyba, chromatická chyba a fyziologický astigmatismus. Sférická chyba je zapříčiněna rozdílnou lomivostí okrajové a střední části čočky, pak se paprsky vzdálenější od optické osy oka lámou blíže k čočce než centrální paprsky. Svazek se pak zobrazí na sítnici jako kruh nejasnými okraji. Při chromatické chybě dochází k rozložení bílého světla na jeho spektrální složky při lomu světla na oční čočce. Oko postižené takovou vadou je potom při pohledu do dálky pro červené paprsky krátkozraké a naproti tomu pro modré dalekozraké. Velmi malá je pak chromatická chyba pro žluté světlo. Nejvíce se chromatická chyba projevuje za šera, protože dochází k rozšíření zornic a využívají se okrajové paprsky. Fyziologický astigmatismus zapříčiňuje fakt, že žádné oko není osově symetrické. Dochází k tomu, že v horizontální rovině je lomivost menší než ve vertikální rovině a vznikají tak dvě ohniskové roviny. Mezi vady optické soustavy se počítají i onemocnění, například šedý zákal. Při něm čočka ztrácí svoji průhlednost, a tím se zhoršuje vidění [1].

Poslední skupina aspektů ovlivňujících hodnocení oslnění, vychází z vyzařovacích vlastností zdroje oslnění. Jedná se o blikání zdroje takzvaný flicker a teplotu chromatičnosti. Blikání můžeme rozdělit na viditelné a stroboskopické. Perioda blikání závisí na použitém světelném zdroji a na použitém zapojení. Při hodnocení oslnění může pozorovatel nabýt dojmu zrakové nepohody v důsledku působení blikání oslňujícího zdroje a přisoudit ji oslnění [14].

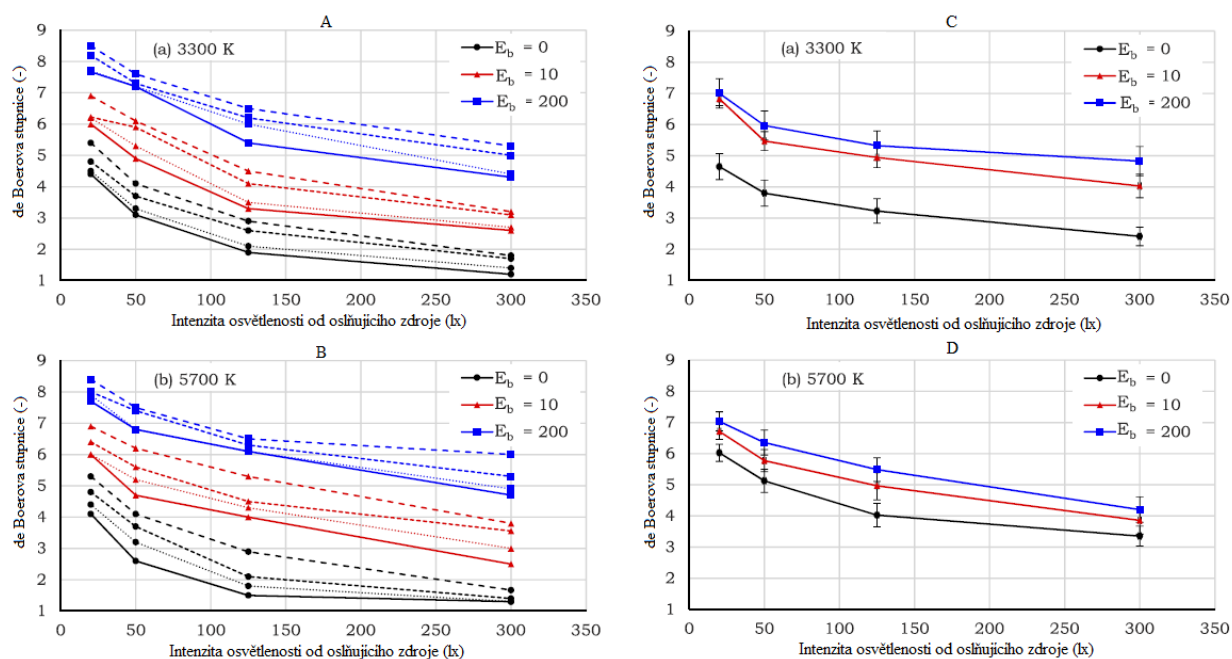
Teplota chromatičnosti zdroje úzce souvisí se zrakovou pohodou. Vyplývá to z fyziologických aspektů zrakového vnímání, ty respektují proměnlivou teplotu chromatičnosti světla během dne. Vyšším hodnotám oslnění odpovídají vyšší hodnoty teploty chromatičnosti a naopak. Popsané skutečnosti by se měly respektovat při návrhu osvětlovacích soustav, kde by dané hodnotě osvětlenosti měla odpovídat teplota chromatičnosti určena dle Kruithofova diagramu, který je vyobrazen na *Obr. 3-5*. Při špatné volbě teploty chromatičnosti může být u pozorovatelů zvýšená zraková nepohoda a může nastat stejný problém při hodnocení rušivého oslnění jako u blikání zdroje [6].

Vliv teploty chromatičnosti na vnímání rušivého oslnění zahrnuje ve své práci Yanda Lin a kol. (2014). Práce primárně zkoumá reakci pupilů na rušivé oslnění a srovnává korelaci mezi objektivní metodou měření a subjektivní metodou (de Boer). Studie zkoumala reakce na oslňující podnět u dvaceti subjektů ve dvou věkových kategoriích (20-30, 55-65). Na *Obr. 2-7* jsou uvedeny grafy ze studie, kde je vidět rozdíl mezi subjektivním hodnocením rušivého oslnění pozorovatelů při rozdílných teplotách chromatičnosti v závislosti na velikosti intenzity vyzařování zdroje oslnění pro rozdílné hodnoty jasu pozadí. Závislosti prokazují, že pocit oslnění se liší pro různé hodnoty teploty chromatičnosti. Dále je zde vidět rozdílné hodnocení rušivého oslnění jednotlivých věkových kategorií [16].

Všechny popsané aspekty mohou mít vliv na korelaci vypočítaných hodnot oslnění a hodnot určených subjektivním výzkumem. Nelze je všechny zcela eliminovat, proto nikdy nedosáhneme naprosto shodných výsledků.



Obr. 2-6 Kruithofův diagram, oblast A – pocit přesvětlení a zkreslení barev, oblast B – příjemný pocit osvětlení, oblast C – pocit nedostatku světla (převzato a upraveno z literatury [6]).



Obr. 2-7 Subjektivní hodnocení rušivého oslnění v závislosti na změně intenzity osvětlenosti od zdroje oslnění. Grafy A a B jsou pro věkovou skupinu 20-30 let, kde je zahrnuta změna horizontálního pozorovacího úhlu (nepřerušovaná čára - 2°, tečkovaná čára - 4°, čárkovaná čára - 8°, dlouze-čárkovaná čára - 16°). Grafy C a D ukazují hodnocení pro věkovou skupinu 55-65 let (převzato a upraveno z literatury [16]).

3 SVÍTIDLA S NEUNIFORMNÍ VYZAŘOVACÍ PLOCHOU

V posledních letech dochází k velkému rozvoji LED světelných zdrojů. Ty postupně vytlačují všechny klasické světelné zdroje, jako jsou teplotní a výbojové světelné zdroje. S novým zdrojem se začal více řešit problém, který nazýváme neuniformita.

3.1 LED světelné zdroje

Světelné diody LED (Light Emiting Diode) patří mezi elektroluminiscenční světlené zdroje. LED světelné zdroje využívají ke své činnosti schopnosti emitace světelného záření po přiložení stejnosměrného napětí na PN přechod. Na výrobu PN přechodů se používají polovodičové materiály vysoké čistoty, doplněné malým množstvím příměsí, která slouží k vytvoření přebytku nebo nedostatku elektronů. Po přiložení stejnosměrného napětí dochází k rekombinaci párů elektron – díra, při daném jevu se uvolňuje kvantum energie a dochází k jeho vyzáření. Dochází tak k přímé změně elektrické energie na světlenou. Barva vyzařovaného světla závisí na typu použitých materiálů a geometrickém uspořádání přechodu.

Pro všeobecné osvětlování se používá světelných zdrojů vyzařujících bílé světlo. To můžeme z LED světelných zdrojů získat za pomoci dvou metod. První metoda spočívá v míšení světla červené, modré a zelené LED. Tento proces má nevýhody, že výsledný jas je nižší a v průběhu provozu může docházet vlivem degradace ke změně vyzařované bílé barvy. Druhý způsob je založen na principu fosforescence luminoforu. Pro buzení světla z luminoforu se využívají vysokovýkonné modré LED, nebo se mohou použít ultrafialové diody.

Jeden samostatný LED čip nemá většinou potřebný světelný tok, který od svítidla vyžadujeme, proto se využívá spojování LED čipů, pro dosažení potřebných parametrů. Takové sestavy mají nejčastěji tvar pásku nebo hřebenu. K napájení systému s LED slouží předřadná zařízení, která mění střídavé napětí dodávané ze sítě na stejnosměrné a drží konstantní proud dodávaný do LED čipů.

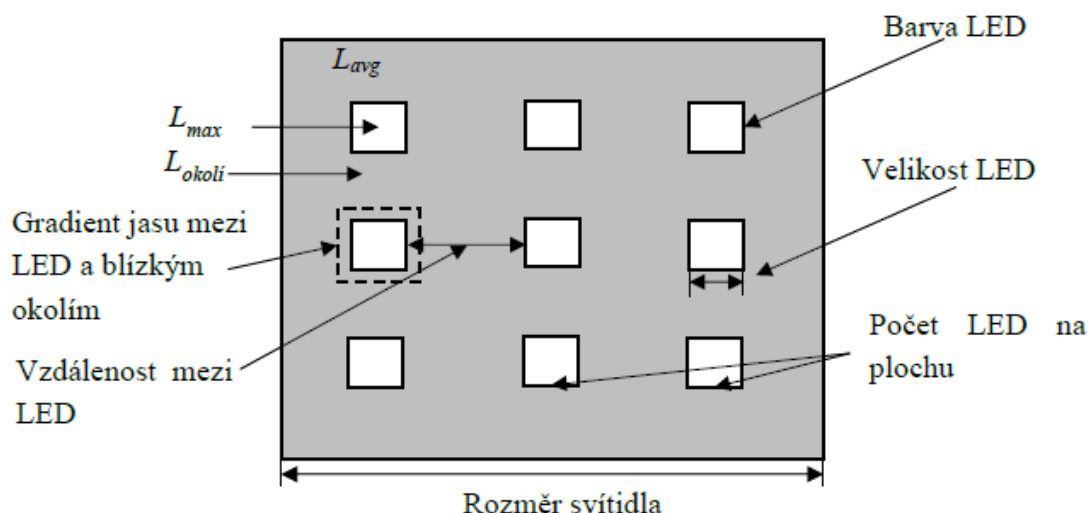
Hlavní výhodou LED světelných zdrojů je vysoký měrný světelný výkon. Pohybuje se v rozmezí od 55 do 170 lm/W. Další výhody jsou vysoká životnost, dobrá spolehlivost, možnost vytvoření různě tvarovaných svítidel a široký rozsah teplot chromatičnosti. LED světlené zdroje jsou využívány pro všechny druhy osvětlovacích soustav, jedná se o současnost i budoucnost světelné techniky [1].

3.2 Neuniformní vyzařovací plochy a oslnění

Nejprve je nutné si definovat stav, který vyjadřujeme slovem neuniformita. Neuniformita vyjadřuje nejednotnost. V případě, že hovoříme o neuniformních vyzařovacích plochách, myslíme vyzařovací plochy, které mají po svém povrchu rozdílný jas. Charakteristickým příkladem jsou LED světelné zdroje s maticovým uspořádáním LED diod. Ve většině studií je neuniformita chápána jako poměr maximálního jasu svítidla a průměrného celkového jasu svítidla. Rozšířený popis zahrnuje i jiné aspekty působící na neuniformitu. U maticových LED zdrojů jsou těmito aspekty velikost, počet a vzdálenost mezi jednotlivými LED čipy. Schématické znázornění aspektů způsobujících a působících na neuniformitu je uvedeno na *Obr 3-1*.

Výše popsané aspekty mají vliv na oslnění, které způsobuje světelný zdroj s popsanou vyzařovací plochou. Většina studií říká, že svítidla s neuniformní vyzařovací plochou způsobují větší oslnění, než svítidla s uniformní vyzařovací plochou, při shodném vyzařovaném jasu. Pouze

v jedné studii, kterou vypracoval EBLE-HANKINS (2008), je popsán horší oslňující jev u svítidel s uniformní vyzařovací plochou. Tato anomálie je nejspíš způsobena tím, že bylo použito lineárních svítidel, kdežto ostatní studie se zabývají čtvercovými svítidly. Obecně tedy můžeme říct, že vlivem neuniformity dochází ke zhoršení kvality osvětlení, charakterizované zvýšením oslnění.



Obr. 3-1 Znázornění aspektů ovlivňujících vnímání oslnění a působících na uniformitu svítidla (převzato a upraveno z literatury [6]).

Veliký vliv na uniformitu svítidla má kontrast jasu. Na vliv kontrastu jasu se pohlíží kvantitativně, je určován jako poměr jasu. Může být popsán jako podíl minimálního jasu k maximálnímu (L_{\min}/L_{\max}). Dále se využívá Weberův kontrast, který je charakterizován jako rozdíl mezi vyšším a průměrným jasnem poděleným průměrným jasnem ($\Delta L/L_{\text{avg}}$). V některých případech je vhodné použít Michelsonův kontrast ($(L_{\max} - L_{\min})/(L_{\max} + L_{\min})$). Nejčastěji je pak jednotnost jasu udávána jako podíl průměrného jasu ku jasu maximálnímu (L_{avg}/L_{\max}). Čím větší budou jasové rozdíly, a tedy kontrast jasu na vyzařovací ploše svítidla, tím bude mít svítidlo horší uniformitu. S klesající uniformitou nám bude stoupat vnímané rušivé oslnění. Uniformita se bude snižovat v závislosti na dispozici svítidla, světelných parametřů svítidla a světelných parametřů okolí. Výsledný podnět bude udávat kombinace tří parametřů, které nejvíce snižují uniformitu svítidla:

- Malý poměr plochy LED vůči okolní ploše zdroje oslnění (menší LED čipy, malá hustota LED čipů na plochu a strmější gradient jasu).
- Vysoký jas LED uvnitř svítidla.
- Poměr jasu mezi LED a bezprostředním okolím (s rostoucím poměrem klesá uniformita).

Při zkoumání vlivu počtu a rozměru LED na uniformitu byl proveden experiment, kde se snižoval počet LED a zmenšovala se jejich velikost ve svítidle za konstantního jasu. Bylo prokázáno, že se zmenšujícími se rozměry a snižováním počtu LED dochází k nárůstu rušivého oslnění, a tedy ke snižování uniformity. Daný jev je způsoben zvyšujícím se jasnem jednotlivých LED, kvůli udržení konstantní hodnoty jasu, a následným zhoršením jednotnosti jasu svítidla.

Dalším z rozměrových parametrů, které ovlivňují velikost rušivého oslnění, jsou vzdálenost LED a jejich rozteč. Studie prokazují, že při přímém směru pohledu do zdroje oslnění, rušivé oslnění narůstá se zvětšující se roztečí do rozteče LED okolo 14° . Pro další zvětšování vzdálenosti rozteče LED nebylo zjištěno záporné či kladné působení na oslnění. Hovoříme o pohledu v oblasti blízké zrakové ostrosti v centrální jamce. Nastane-li případ, že rozteč LED bude větší než zraková ostrost, bude oslnění podstatně horší než při rozteči LED, kterou náš zrak již nerozliší.

Vzájemná poloha pozorovatele a oslňující plochy, která je charakterizována pozorovacím úhlem, má také vliv na vnímání oslnění od svítidel s neuniformní vyzařovací plochou. Při porovnání oslnění od svítidel s uniformní a neuniformní vyzařovací plochou byl zjištěn největší rozdíl při přímém směru pohledu. Čím více se svítidla dostávala do periferního pohledu, tím více bylo oslnění od nich srovnatelnější, popřípadě shodné. Konkrétní úhel, při kterém je oslnění způsobené neuniformitou zanedbatelné, není pro všechna svítidla s neuniformní vyzařovací plochou shodný. Liší se v závislosti na světelné situaci, většinou se udává okolo 30° .

Při jednom pokusu (Niedling et al. 2014) bylo zkoumáno pouliční svítidlo, kde měli pozorovatelé rozeznat jednotlivé LED, při změně pozorovacího úhlu. Pozorovatelé byli schopni plnit zadání až do úhlu 10° , dále však už LED nebyly rozeznatelné. Jiná studie (Smith & Moskvina 2014) zkoumala zrakové chování v kancelářském prostoru. Studie prokázala, že pozorovatelé zaznamenali vyšší zrakovou odezvu na svítidlo s neuniformní vyzařovací plochou i při úhlu 30° [6, 17].

Dalšími parametry, které mohou ovlivňovat vnímané rušivé oslnění od svítidel s neuniformní vyzařovací plochou, jsou jas pozadí, teplota chromatičnosti zdroje a natočení vyzařovacích segmentů při přímém pohledu směrem ke svítidlu.

3.3 Hodnocení oslnění od svítidel s neuniformní vyzařovací plochou metodou UGR

Hodnocení rušivého oslnění za pomoci UGR vychází ze studií, které se zabývaly uniformními svítidly. Současné studie, které se zabývají rušivým oslněním od svítidel s neuniformní vyzařovací plochou, shledávají metodu UGR nedostačující a řeší možné úpravy, které mohou zlepšit korelaci výsledků. Úpravy se dají rozdělit do dvou skupin. První skupina řeší úpravu veličin ve vzorci a to činitele polohy, průměrného jasu a pozorované plochy (vyjádřené pomocí prostorového úhlu). Druhá skupina nahrazuje hodnocení UGR jiným typem hodnocení. Například Koga (2013) ve své studii využívá pro hodnocení rušivého oslnění G-classification a modifikuje ho za účelem výpočtu rušivého oslnění od neuniformních zdrojů oslnění [22].

3.3.1 Modifikace činitele polohy

Činitelem polohy pro maticové světlené zdroje se ve své studii zabýval Takahashi (2006). Studie zkoumá rušivé oslnění v závislosti na činiteli polohy a srovnává maticové zdroje s uniformními zdroji oslnění. Závěry studie říkají, že svítidla s uniformní vyzařovací plochou mají nižší činitel polohy než svítidla s maticovou vyzařovací plochou LED. Dále je v ní popsán rozdíl mezi centrálním viděním a periferním, kdy pro centrální pohled je oslnění od maticového zdroje oslnění vyšší než od uniformního, naproti tomu při periferním vidění je rušivé oslnění shodné. Snížení rušivého oslnění od maticového zdroje lze dosáhnout úpravou intervalů mezi

LED body nebo velikosti LED. Pro výpočet rušivého oslnění studie doporučuje použít pro maticový zdroj oslnění upravený činitel oslnění ve tvaru

$$p' = \frac{BCD_{mz}}{BCD_{uz}} \quad (-; \text{cd} \cdot \text{m}^2, \text{cd} \cdot \text{m}^2) \quad (3.1)$$

kde je

p' upravený činitel polohy (-),

BCD_{mz} jas představující hranici mezi zrakovou pohodou a rušením, pro určitý úhel pohledu nad směrem pohledu pro maticový světelný zdroj ($\text{cd} \cdot \text{m}^2$),

BCD_{uz} jas představující hranici mezi zrakovou pohodou a rušením, pro uniformní světlený zdroj při úhlu nula stupňů nad směrem pohledu ($\text{cd} \cdot \text{m}^2$) [18].

Jiná studie, kterou vypracoval Yang (2015), se zaměřuje na úpravu činitele polohy ve vztahu hodnocení oslnění pro malé zdroje. Studie zkoumá rušivé oslnění působící na pozorovatele způsobené LED maticovým zdrojem oslnění. Bylo použito dvou vzorů svítidel. První vzor se shodnou svítivostí jednotlivých LED. Druhý vzor s rozdílnou svítivostí mezi vnitřními LED a LED, které tvoří ohraničení. Závěrem studie je, že menší velikost uniformní LED matice vede k většímu rušivému oslnění a dále se stoupající neuniformitou uspořádání LED také stoupá hodnota rušivého oslnění. Při porovnání subjektivního hodnocení oslnění s vypočítanými hodnotami ze vztahu pro UGR_{small} byl zjištěn korelační koeficient 0,94 pro první vzor a 0,85 pro druhý vzor. Pro zlepšení korelace vyhodnocení rušivého oslnění od svítidel sestavených z maticových LED byl vytvořen nový vztah respektující rozložení LED a neuniformitu jasu

$$UGR_n = 8 \log \left| \frac{1}{4 \cdot L_p} \sum_{i=1}^n 200 \cdot \frac{I_i^2}{r_i^2 \cdot P_i^{váha+kontrast}} \right| \quad (-; \text{cd} \cdot \text{m}^2, \text{cd}, \text{m}, -) \quad (3.2)$$

kde je

UGR_n modifikovaný vztah pro hodnocení rušivého oslnění od malých zdrojů (-),

I_i svítivost oslňujícího i-tého zdroje (cd),

L_p jas pozadí ($\text{cd} \cdot \text{m}^2$),

r_i vzdálenost i-tého zdroje oslnění od pozorovatele (m),

P_i činitel polohy (-) [6].

Ve vztahu 2.6 byla druhá mocnina funkce u činitele polohy nahrazena součtem váhového faktoru a kontrastu. Váha upravuje činitel polohy s ohledem na počet LED. Je dána vztahem

$$váha = 2 + \frac{4}{\text{počet LED}} \quad (-) \quad (3.3)$$

Kontrast zahrnuje do vztahu neuniformní rozložení jednotlivých LED. V dané studii je dán vztahem

$$\text{kontrast} = \frac{\sqrt{\sum (I_i - I_j)^2}}{N \cdot I_{avg}} \quad (-; \text{cd}, \text{cd}, -, \text{cd}) \quad (3.4)$$

kde je

I_i a I_j svítivost sousedících LED (cd),

N počet prvků v sumě umocněných druhou mocninou (-),

I_{avg} průměrná svítivost svítidla (cd) [6]

Korelační koeficienty se po použití vzorce 2.6 zlepšily a to na 0,96 pro svítidla prvního vzoru a 0,93 pro svítidla druhého vzoru. Upravený vzorec je proto vhodnější pro výpočet rušivého oslnění od zdroje oslnění s maticovým vzorem LED [6].

3.3.2 Modifikace jasu

Jednu z možností, jak zlepšit korelaci výsledku pomocí modifikace jasu ve vzorci UGR, uvádí ve se studii Tashiro a kol. (2015). Studie zahrnuje experiment, který byl zaměřen na hodnocení rušivého oslnění od uniformních a neuniformních zdrojů oslnění s různým vzorem vyzařovacích ploch. UGR je vypočítáno za pomoci HDR snímků. Ve experimentu se na výpočet UGR uvažuje s jasnem efektivní oblasti. Efektivní oblast je oblast na HDR snímku s nenulovou hodnotou pixelů. Jas efektivní oblasti se tedy vypočítá jako součet svítivosti nenulových pixelů podělený efektivní oblastí. Při experimentu dále došli k závěru, že pixely s vysokou hodnotou jasu, mají v důsledku vyšší dopad na rušivé oslnění, než pixely s nižším jasnem. V důsledku daného zjištění zavedli korekci jasu váhovým faktorem, monotonicky stoupající funkce jasu. Výsledný jas označili jako efektivní oslňující jas, který získali vztahem

$$L_{eff1} = \frac{\sum I_{i,j} \cdot WF(L_{i,j})}{A_{eff}} \quad (\text{cd} \cdot \text{m}^2; \text{cd}, -, \text{m}^2) \quad (3.5)$$

kde je

L_{eff1} efektivní oslňující jas s váhovým faktorem ($\text{cd} \cdot \text{m}^2$),

$I_{i,j}$ svítivost pixelu na pozici i, j (cd),

A_{eff} efektivní oblast (m^2).

Váhový faktor WF byl pro všechna měření definován jako exponenciální funkce. Váhový faktor je závislý na velikosti jasu pozadí, uvedený vztah 3.6 dosáhl nejlepších hodnot pro různé hodnoty jasu pozadí.

$$WF = 4 \cdot 10^{-5} \cdot L_{i,j}^{0,811} \quad (-; \text{cd} \cdot \text{m}^2) \quad (3.6)$$

kde je

$L_{i,j}$ jas pixelu na pozici i, j ($\text{cd} \cdot \text{m}^2$).

Na základě experimentů byl ve studii stanovený nový vztah pro výpočet UGR, který lépe respektoval vliv nejednotnosti jasu na povrchu vyzařovací plochy a zajišťoval lepší korelaci výsledků mezi subjektivními a vypočítanými hodnotami UGR. Subjektivní hodnocení bylo provedeno za pomoci de Boereho měřítka. Pro výsledný vztah byl průměrný jas nahrazen efektivní hodnotou jasu a další koeficienty byly nastaveny tak, aby poskytly hodnoty nejlépe vyhovující použitému měřítku hodnot získaných ve studii. Nová hodnota dostala označení $mUGR1$

$$mUGR1 = 0,6 \log \left(\frac{L_{eff1}^2 \cdot \Omega}{L_p \cdot P^2} \right) + 5,41 \quad (-; -, \text{cd} \cdot \text{m}^2, \text{sr}, \text{cd} \cdot \text{m}^2, -) \quad (3.7)$$

kde je

L_{eff1} efektivní oslňující jas s váhovým faktorem ($\text{cd} \cdot \text{m}^2$),

L_p jas pozadí ($\text{cd} \cdot \text{m}^2$),

Ω prostorový úhel zdroje (sr),

P činitel polohy (-).

Po použití vzorce byl korelační činitel roven velmi dobré hodnotě 0,887. Studie dále definovala druhý nový vztah pro výpočet UGR, ten respektoval závislost váhového faktoru na jas pozadí a jas pozadí byl přímo zahrnut do výpočtu efektivní hodnoty jasu. Tím ale vzorec ztratil na obecné použitelnosti, i když pro danou studii se výsledky ještě zpřesnily než při použití vzorce mUGR1 [19].

Další možnost, jak modifikovat jas vstupující do vzorce pro výpočet UGR, je korekce průměrného jasu na základě uniformity. Jednu z možností, jak zapracovat uniformitu do výpočtu UGR popsal ve své studii Higashi a kol. (2012). V studii byl použit vztah pro výpočet rušivého oslnění nUGR ve tvaru

$$nUGR = 5,7 \log \left| \frac{0,25}{L_p} \sum_{i=1}^n \frac{L_{zi}^2 \cdot f(U_i) \cdot \Omega_i}{P_i^2} \right| \quad (-; -; \text{cd} \cdot \text{m}^2, \text{sr}, -, \text{cd} \cdot \text{m}^2, -) \quad (3.8)$$

kde je

L_{zi} jas oslňujícího i -tého zdroje ($\text{cd} \cdot \text{m}^2$),

L_p jas pozadí ($\text{cd} \cdot \text{m}^2$),

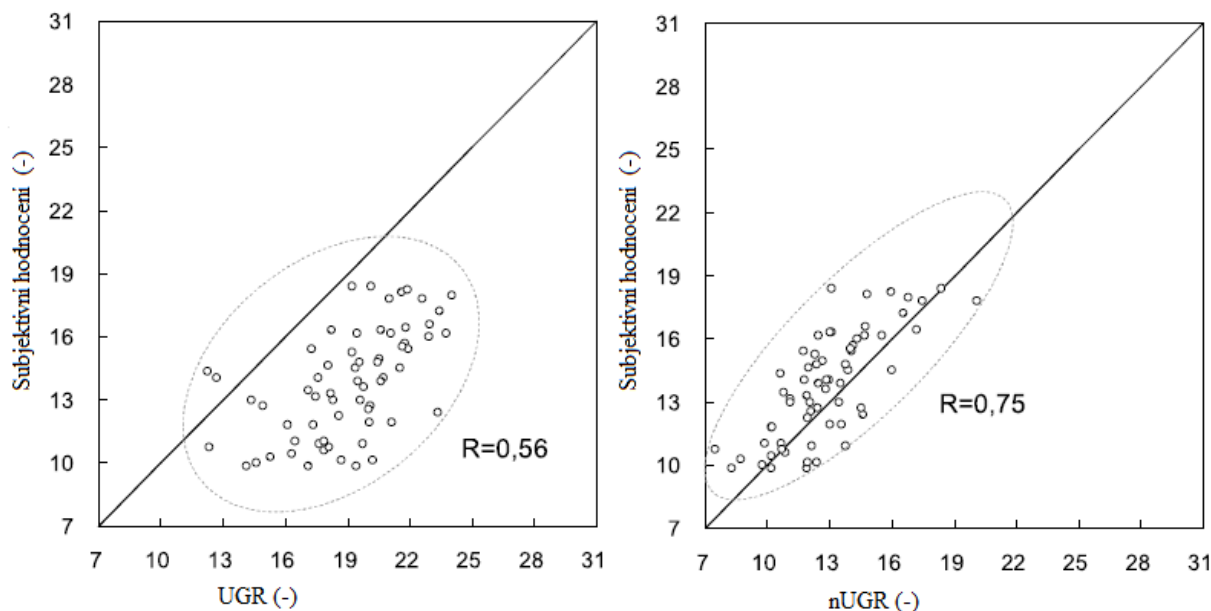
Ω_i prostorový úhel i -tého zdroje (sr),

P_i činitel polohy (-).

Uniformita U v dané studii byla určena jako poměr průměrné a maximální hodnoty jasu svítidel. Do vztahu pak vstupovala jako funkce

$$f(U) = -0,07(\ln(U))^3 + 0,41 \quad (-; -) \quad (3.9)$$

Vzorec vznikl na základě experimentu, kdy bylo zjištěno, že vypočítaná hodnota UGR je příliš přísná a nekoresponduje se subjektivním hodnocením rušivého oslnění, jak je uvedeno na Obr 3-2. Na obrázku je dále patrné výrazné zlepšení korelace výsledků při použití nUGR [6, 19].



Obr. 3-2 Porovnání UGR a nUGR se subjektivním hodnocením (převzato a upraveno z literatury [19]).

Vzorec 3.8 neupravuje pouze jas, ale celkový vztah pro UGR. Jiný přístup k úpravě vzorce je popsán ve studii, kterou zpracoval Hara (2011). Ve studii byla uniformita definována jako poměr

jasu vypočítaného geometrickým průměrem jasů jednotlivých pixelů v HDR snímku ku průměrnému jas. Studie dále stanovila průběh funkce uniformity, který je uveden na Obr. 3-3. Funkce uniformity koriguje hodnotu jasů ještě před umocněním druhou mocninou

$$UGR' = 8 \log \left| \frac{0,25}{L_p} \sum_{i=1}^n \frac{\left[f \left(\frac{L_{geomean}}{L_{avg}} \right) \cdot L_{zi} \right]^2 \cdot \Omega_{C,yi}}{P_i^2} \right| \quad (-; -; \text{cd} \cdot \text{m}^2, \text{sr}, -, \text{cd} \cdot \text{m}^2, -) \quad (3.10)$$

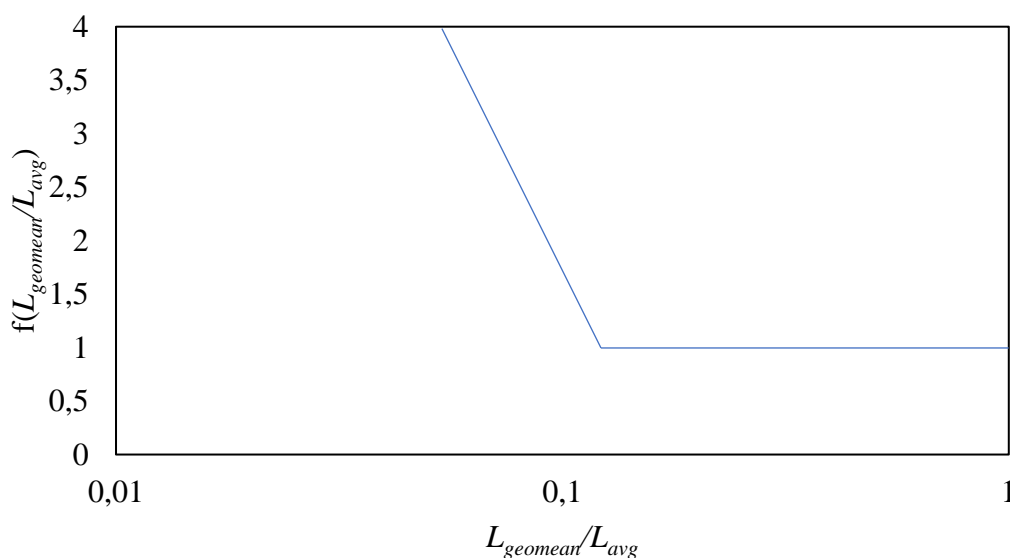
kde je

L_{zi} jas oslňujícího i -tého zdroje ($\text{cd} \cdot \text{m}^2$),

L_p jas pozadí ($\text{cd} \cdot \text{m}^2$),

$\Omega_{C,yi}$ prostorový úhel i -tého zdroje, kde C a y jsou prostorové souřadnice definované v TR 117 (CIE, 1995) (sr),

P_i činitel polohy $(-)[20]$.



Obr. 3-3 Porovnání UGR a nUGR se subjektivním hodnocením (převzato a upraveno z literatury [20]).

3.3.3 Modifikace plochy oslňujícího zdroje

Studii, která se zaměřuje na určení skutečné pozorované plochy u neuniformních zdrojů, vypracoval Funke a Schierz (2015). Ve studii se zkoumá oslnění od svítidel v interiéru. Pro určení rušivého oslnění byl použit ILMD vybavený 1,3 megapixelovým objektivem doplněný o fisheye. V prvním kroku vypočítali ze snímku prahové kontrasty a z nich utvořili histogram. V druhém kroku určili z histogramu prahový jas. Třetím krokem byla identifikace zdrojů oslnění v zorném poli. Všechny souvislé viditelné obrazové body byly zpracovány jako jeden zdroj oslnění, pro který byl určen průměrný jas, prostorový úhel a činitel polohy. Hodnota jasů pozadí byla určena z pixelů, které měly nižší jas, než byl prahový jas. Určené hodnoty byly potom použity pro výpočet UGR, dle klasického vzorce.

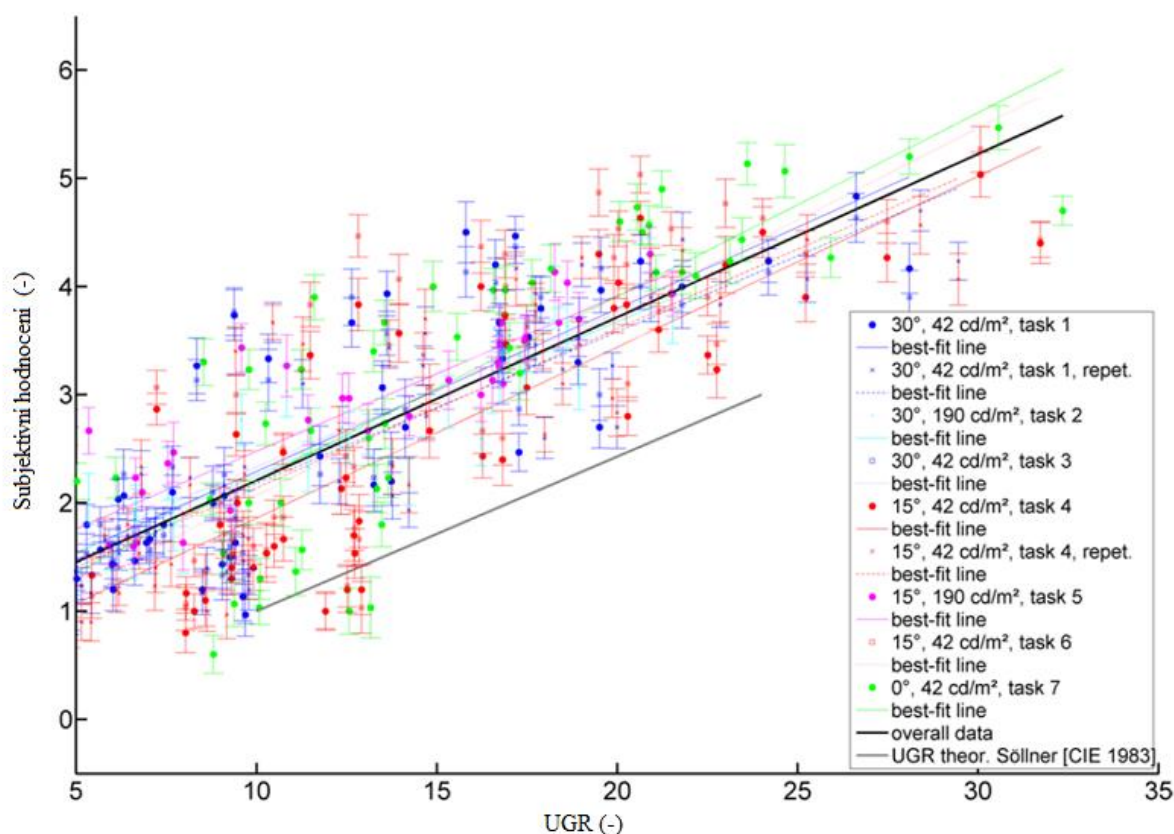
Dále bylo ve studii provedeno subjektivní hodnocení oslnění. Hodnocení provádělo celkem 30 pozorovatelů. Hodnotili 71 světelných situací v sedmi různých úlohách a příslušných směrech. Zadání a parametry úkolů jsou uvedeny v Tab 3-1. Celkem bylo provedeno 19 170 hodnocení

oslnění. Při porovnání subjektivního hodnocení s vypočítanými hodnotami byla zaznamenána dobrá korelace výsledků ($R > 0,8$), proto se daný algoritmus dá považovat za vhodný pro výpočet rušivého oslnění od svítidel s neuniformní vyzařovací plochou. Výsledné porovnání je uvedeno v grafu na Obr. 3-4.

Popsané modifikace popisují pouze část dosavadních výzkumů a navržených metod pro výpočet oslnění od svítidel s neuniformní vyzařovací plochou, ale zachycují základní principy úprav. Největším problémem je špatná možnost srovnání jednotlivých studií, protože většinou používají rozdílná měřítka hodnocení [21].

Tab. 3-1 Zadání úkolů pro subjektivní hodnocení oslnění (převzato a upraveno z literatury [21])

Číslo úlohy	Úkol	Čas na úkol (s)	Úhel natočení ke zdroji oslnění (°)	Jas pozadí ($\text{cd} \cdot \text{m}^2$)
1	Matematická úloha	15	30	42
2	Matematická úloha	15	30	190
3	Sluchová matematická úloha	15	30	42
4	Matematická úloha	15	15	42
5	Matematická úloha	15	15	190
6	Pohled na bod fixace	7	15	42
7	Krátký pohled do zdroje	7	0	42



Obr. 3-4 Porovnání UGR se subjektivním hodnocením (převzato a upraveno z literatury [21]).

4 VYHODNOCENÍ STÁVAJÍCÍHO STAVU

Vyhodnocení stávajícího stavu se zabývá popisem použité měřicí metody a experimentu, který ve své práci uskutečnil Ing. Polián (2017). Cílem experimentu bylo určit hodnotu oslnění od svítidel s neuniformní vyzařovací plochou. První část byla zaměřena na simulaci experimentu v programu Relux. V druhé části bylo provedeno měření na reálném pracovišti za pomoci jasového analyzátoru. Výsledky experimentu jsou základem další práce.

4.1 Hodnocení oslnění od svítidel jasovou analýzou

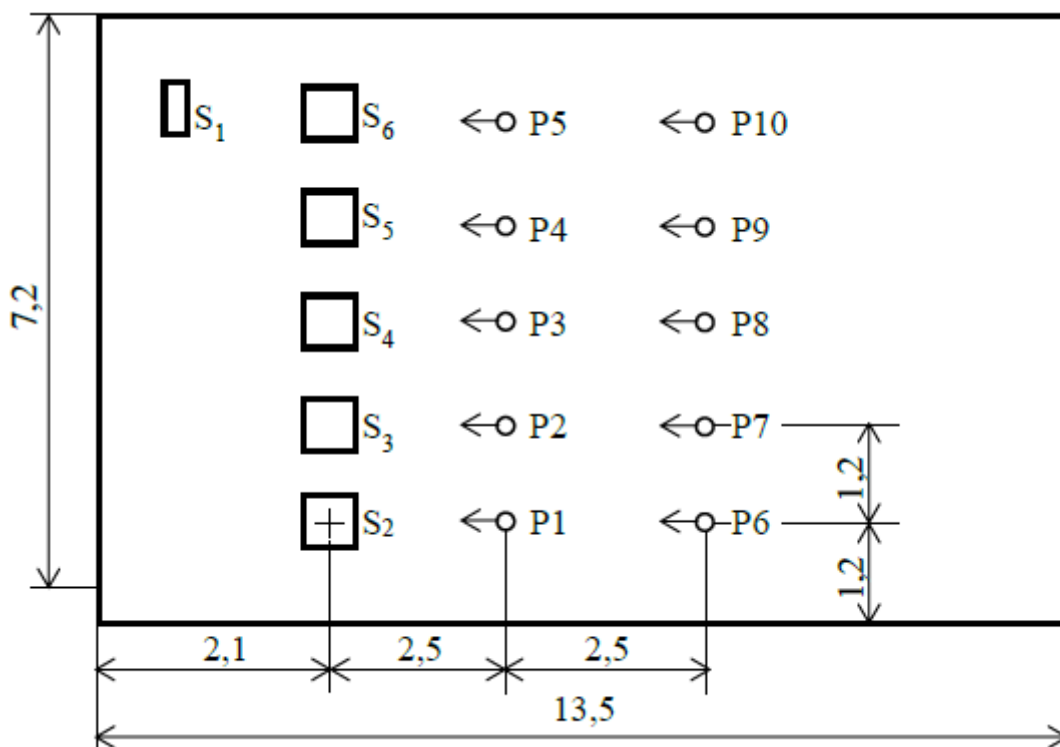
Jasová analýza se využívá k vyhodnocení rušivého oslnění dle metodiky UGR. Přístroj, který se používá pro měření, se nazývá jasový analyzátor. Ten umožňuje plošné měření a následnou tvorbu jasových map, na kterých lze pozorovat rozložení jasu na zkoumaných plochách, svítidlech nebo světelných zdrojích. Pro snímání prostoru se využívá speciálně kalibrovaný fotoaparát nebo videokamera. Aby byla zajištěna správnost výstupů, musí mít snímací zařízení přizpůsobenou spektrální citlivost citlivosti lidského oka normálního fotometrického pozorovatele. Spektrální citlivost zraku se vyjadřuje za pomoci $V(\lambda)$ křivky. Přizpůsobení na danou křivku se provádí za pomoci speciálního filtru tedy hardwarově nebo softwarově. K převodu snímku pořízeného speciálně kalibrovaným snímacím zařízením na jasovou mapu se využívají k tomu určené speciální programy. Výstupem po převedení je jasová mapa, kde každý pixel má přiřazenou hodnotu jasu, můžeme tedy v kterémkoli místě snímku tuto hodnotu odečíst a následně využít k dalšímu zpracování.

Jedním z jasových analyzátorů, který zvládá všechny výše popsané funkce, je analyzátor LDA – LumiDISP. Ten je vyvíjen od roku 2001 na FEKT VUT v Brně. LumiDISP zvládá určit všechny informace, které jsou potřeba pro výpočet rušivého oslnění. Průměrný jas oslňujících zdrojů lze určit jako průměr jasu všech pixelů celého svítidla, které je označeno, nebo lze využít funkce prahového jasu, kde se za jas svítidla ve vybrané oblasti považují pixely o hodnotě jasu vyšší, než je zadaný prahový jas. Prostorový úhel, pod kterým pozorovatel zaznamená oslňující zdroj, je dán součtem jednotlivých elementárních prostorových úhlů každého pixelu v oblasti oslňujícího zdroje. Pro určení činitele polohy je nutnost znát zobrazovací funkce objektivu. Činitel polohy je dán v závislosti umístění oslňujícího zdroje vůči ose pohledu, je určován podle Luckieshe a Gutha. Jas pozadí lze nejlépe určit z HDR snímku seskládaného ze snímků pořízených širokoúhlou optikou. Výpočet oslnění se pak provádí dle metodiky UGR popsané v kapitole 2.2.1.

Výhodou jasového analyzátoru LumiDISP je, že dokáže vypočítat všechny potřebné informace a určit hodnotu oslnění ze snímku bez výrazných mezikroků, jako je třeba měření vzdálenosti, či úhlů. Další výhodou je možnost zpracování velkého počtu snímků za pomoci dávkové analýzy. Analyzátor má spoustu dalších funkcí, která ale nejsou předmětem zkoumání dané práce [6].

4.2 Popis a zhodnocení experimentu

Experiment se uskutečnil v prostorách školy VUT FEKT v budově T12 učebně SA6.33. Rozměry místnosti jsou šířka 7,2 m, délka 13,5 m a výška 2,9 m. Uspořádání pracoviště je uvedeno na Obr. 4-1. Svítidla S2 až S6 značí zkoumané zdroje oslnění. Pozice P1 až P10 ukazují uvažované umístění pozorovatelů a směr pohledu.



Obr. 4-1 Uspořádání pracoviště (převzato z literatury [6]).

Svítilno S1 bylo určeno k vytváření adaptačního jasu pro subjektivní hodnocení oslnění. Při experimentu bylo svítidlo vypnuto. Svítidla S2 až S6 byla použita jako zdroje oslnění. Byla použita vestavná LED svítidla o rozměru 600 x 600 mm s laditelnou teplotou chromatičnosti. Typ svítidla byl shodný pro všechna svítidla. Jednalo se o svítidla s laditelnou bílou, světelným tokem 6283 lm, kosinusovou křivkou svítivosti a podáním barev Ra 80. Svítidla se od sebe liší velikostí a počtem elementu vyzařovací plochy. Elementy jsou uspořádány v určitém rastru, rastr jednotlivých svítidel a velikosti plochy jsou uvedeny v Tab. 4-1.

Svítidla jsou od společnosti VYRTYCH. Ve svítidle je šest LED modulů VYRTYCH 280x24/32, ty jsou osazeny LED s o různé teplotě chromatičnosti. Typ LED je LM561B+. LED moduly jsou napojeny na předřadníky od Helvaru typu LL60/2-E-DA-iC o výstupním výkonu 60 W. Na předřadník je možno připojit 2 LED moduly, to znamená že v každém svítidle budou tři předřadníky.

Popsané předřadníky jsou kompatibilní s DALI systémem. To znamená, že pomocí systému DALI můžeme ovládat a nastavovat jednotlivá svítidla. Systém DALI je jeden s nejrozšířenějších a nejlepších systému řízení osvětlení. Řízení zajišťuje centrální jednotka, která komunikuje se svítidly po DALI sběrnici. V daném experimentu byla digitální sběrnice vedena samostatným dvoužilovým kabelem. Pro řízení sběrnice byl použit směrovač Imagine Router 920 od Helvaru. Komunikaci mezi směrovačem a PC byla zajištěna pomocí ethernetového rozhraní. Pro přiřazení adres svítidlům a nastavování scén byl využit program Designer.

Pro sjednocení vyzařovaného světelného toku, byla svítidla nastavena tak, aby pod středem každého svítidla ve výšce 0,75 m nad zemí byla dosažena hodnota 350 lx. Nastavování probíhalo při samostatně zapnutém svítidle. Měření intenzity osvětlenosti bylo zajištěno za pomoci luxmetru PRC Krochmann RadioLux 111. Dále byly nastaveny tři hodnoty teploty chromatičnosti (2900, 4000 a 6000 K) za pomoci chromometru Konica Minolta CL – 200 [6].

Tab. 4-1 Rozložení elementů vyzařovací plochy svítidel (převzato a upraveno z literatury [6])

Svítidlo	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Rastr elementů	1x1	1x1	2x2	4x4	7x7	17x17
Vyzařovací plocha A_r (m ²)	0,25	0,25	0,16	0,1681	0,1225	0,1156

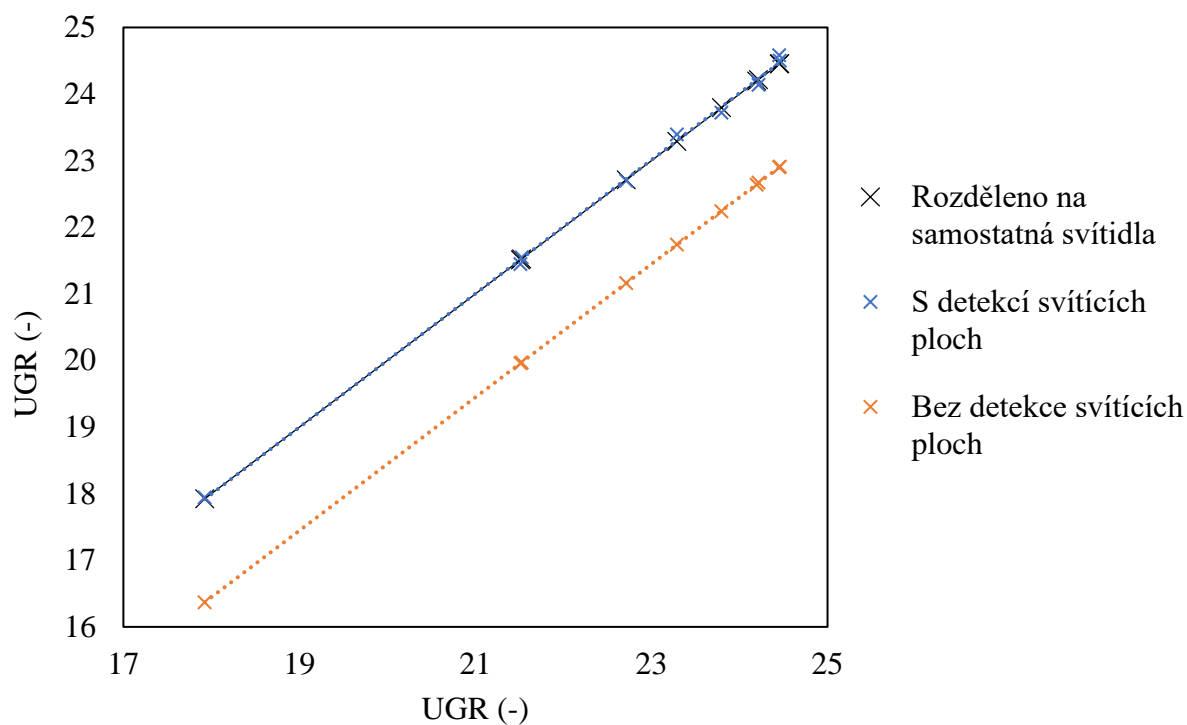
Měření oslnění bylo provedeno za pomoci jasového analyzátoru LDA – LumiDISP. Měření probíhalo při nastavené náhradní teplotě chromatičnosti na 6000 K. Pro zachycení snímků pro následnou analýzu byla použita digitální zrcadlovka Nikon D7200. Byli využity dva typy objektivů. Pro detailní vyhodnocení jasů svítidel sloužili snímky pořízené za pomoci objektivu 50 mm. Dále pro zachycení celého prostoru byl použit širokoúhlý objektiv nazývaný jako rybí oko.

Měřicí sestava byla přesouvána mezi jednotlivými pozicemi. Pro každou pozici bylo pořízeno několik snímků při postupném zapínání jednotlivých svítidel. Snímky byly následně přetransformovány na jasové mapy. Z jasových map byla vytvořen snímek s vysokým dynamickým rozlišením jasů takzvaná HDR fotografie. Ze snímků HDR bylo následně určeno oslnění pomocí UGR. Jas pro výpočet byl určen pomocí funkce mezního jasů, to znamená, že byly vybrány svítící plochy o jasů větším než 500 cd m². Přesnější hodnoty UGR byli vypočítány pro snímky zachycené objektivem 50 mm, protože u snímků pořízených širokoúhlým objektivem nese informaci o jasů svítidla méně pixelů.

Nejvyšší stupeň oslnění byl naměřený u svítidla S5, to neodpovídá teoretickému předpokladu. Nejvyšší oslnění by mělo být u svítidla, kde jsou nejvyšší jasové špičky, které jsou nejvyšší pro svítidlo s nejvyšším počtem elementů svítidlo S6. Autor daný jev vysvětluje chybou měření, kde uvádí, že svítidlo S6 je umístěno blíže ke stěně než S5. V souladu s teoretickými předpoklady byl fakt, že se vzdalujícím se testovaným svítidlem od optické osy pozorování klesá hodnota UGR. Při porovnání vypočítaných a nasimulovaných hodnot byla zjištěna chyba v rozsahu od 0,59 % do 39,65 %. Daná chyba byla nejspíše zaviněna nepřesně zadanými parametry v simulaci [6].

Dále experiment uvažuje možnost, že svítidla, u kterých se vyzařovací plocha skládá z více vyzařovacích elementů, lze rozdělit na samostatná svítidla. Počet nových svítidel je potom roven počtu elementů, které obsahuje vyzařovací plocha celého svítidla. Každé takové nové svítidlo má vlastní průměrný jas, činitel polohy a prostorový úhel. Výsledné hodnocení oslnění je tedy rovno součtu oslnění od nových svítidel. V experimentu bylo tímto způsobem rozděleno svítidlo S3. Vznikla tedy 4 samostatná svítidla. Při porovnání vypočítaného UGR od nově vzniklých svítidel s vypočítaným UGR z hodnot určených za pomoci výběru svítidla mezním jasem byla zjištěna maximální chyba 0,44 %. Lze tedy říct, že dosáhneme téměř shodných výsledků.

V grafu na Obr. 4-2 lze vidět závislost hodnot UGR vypočítaných dle postupů uvedených v předešlém odstavci, dále graf obsahuje závislost, kde byla hodnota UGR vypočítána z celého svítidla bez detekce svítivých ploch. Svítidlo S3 se tedy bralo jako celek. Z dané závislosti je vidět, že pro tento způsob výpočtu dochází ke zhoršení shody mezi výsledky. Maximální chyba je zde až 8 %. Pozorujeme, že celá závislost klesla, to je způsobeno tím, že do výpočtu průměrného jasů oslňujícího zdroje byly zahrnuty i plochy, které nesvítí.



Obr. 4-2 Znázornění hodnot oslnění pro různé metody určení průměrného jasů oslňujícího zdroje.

V experimentu nebylo provedeno subjektivní hodnocení rušivého oslnění, a proto není možné říct, zda zvolená metoda určení UGR je vyhovující nebo není.

5 POKUSNÉ MĚŘENÍ

Cílem daného experimentu bylo zhodnotit vhodnost použití jasové analýzy a jasového analyzátoru LumiDISP pro hodnocení rušivého oslnění od svítidel s uniformní i neuniformní vyzařovací plochou za pomoci klasické nemodifikované metody hodnocení oslnění UGR a nalezení možné úpravy daného vzorce. Dalším z cílů bylo prověřit působení neuniformních zdrojů na subjektivní vnímání rušivého oslnění pozorovatelů.

Pro dosažení popsaných cílů byl experiment rozdělen na tři části. První část zahrnovala simulaci za pomoci programu Relux. Další část hodnotila oslnění za pomoci jasové analýzy. Poslední částí experimentu bylo subjektivní hodnocení oslnění od pozorovatelů.

Experiment vycházel z pokusného měření uvedeného v kapitole 4. Došlo k výrazné modifikaci celého postupu i k vylepšení použitých svítidel a jedná se tedy o zcela nový experiment.

5.1 Charakteristika svítidel

Svítidla použita v experimentu uvedeném v kapitole 4 nedosahovala takového výkonu, aby vytvořila potřebnou velikost hodnoty oslnění. Výpočtově nedokázala pokrýt celý rozsah hodnot UGR, který byl potřeba pro určení vhodnosti metody. Také vizuálně nezpůsobovala větší pocit oslnění, který byl potřeba k subjektivnímu hodnocení oslnění. Proto byla svítidla demontována a poslána na vylepšení do společnosti VYRTYCH, kde byla svítidla vyrobena. Vylepšení zahrnovalo přidání dvou předřadníků do každého svítidla a čtyř LED modulů. Takto vylepšená svítidla obsahovala 5 předřadníků LL60/2-E-DA-iC od společnosti Helvar o výstupním výkonu 60 W. Popsaný předřadník je opatřený dvěma kanály pro připojení LED modulů. Na každý kanál je napojen LED modul VYRTYCH 280x24/32, který je osazený LED LM561 s laditelnou bílou. U vylepšených svítidel již nebylo možné zabudovat předřadníky rovnou do svítidla a byla tedy umístěna mimo svítidla na plechový chladič. Toto opatření bylo nutné z důvodu možného přehřívání předřadníku, protože celkový příkon vylepšeného svítidla je 140 W a mohlo by dojít ke zničení předřadníku nebo ke zkrácení jeho životnosti. V příloze A je možné pozorovat hustotu osazení LED vylepšeného svítidla a plechový chladič osazený předřadníky.

Vylepšená svítidla bylo možné stejně jako před vylepšením ovládat a nastavovat DALI systémem. Stejně tak vyzařovací plochy svítidel zůstaly stejné. Rast a velikost elementu svítidel jsou uvedeny v Tab 5-1. Nákres masek svítidel je zobrazen v příloze B.

Před zpětnou montáží na své původní pozice do podhledového stropu byla svítidla podrobena měření ve fotometrické laboratoři. Všechna svítidla obsahovala stejné komponenty a lišila se pouze rastrem elementu vyzařovací plochy, který nám určoval stupeň neuniformity. Z daného poznatku bylo určeno, že rozdíl vyzařovacích parametrů svítidel, zanedbáme-li řízení, je plně závislý na použité masce svítidla. Proto bylo ve světelné laboratoři zkoumáno pouze jedno ze svítidel s tím, že ostatní svítidla byla vytvořena záměnou masky svítidla. Hlavním důvodem daného postupu byl fakt, že pro potřebná měření bylo potřeba do svítidel zabudovat systémy uchycení a k tomu bylo potřeba zasáhnout do svítidla a vyvrtat do něj díry. Použitým postupem se vrtalo pouze do jednoho svítidla a ostatní svítidla zůstala nepoškozena. Pro další části experimentu bylo potřeba zjistit, jakou křivku svítivosti mají jednotlivá svítidla, a to pro účely simulace experimentu. Dalším bodem bylo určení výstupního světelného toku jednotlivých svítidel, a to pro účely nastavování svítidel a simulace experimentu. Dále bylo potřeba prověřit

rozsah možných nastavení náhradní teploty chromatičnosti a jako poslední bylo potřeba určit jakou charakteristiku tlumení má použitá kombinace předřadníku a ovládacího systému. Obě věci byly využity pro nastavování svítidel.

Křivky svítivosti byly naměřeny za pomoci goniofotometru, fotočlásku a programu GMS. Svítidlo bylo umístěno na goniofotometr a napájeno z jednofázového zdroje APT 310XAC. Svítidlo bylo zapojeno bez řízení, jelo tedy na plný výkon. Po zahřátí, které trvalo přibližně hodinu a půl bylo spuštěno měření. Měření bylo provedeno pro všech pět masek. Výsledné křivky jsou uvedeny v příloze C. Pro všechny typy masek byla naměřena kosinová křivka. To odpovídalo teoretickému předpokladu. Z daného měření byla dále určena maximální hodnota výstupního světelného toku ze svítidel. Z *Tab. 5-1* je patrné, že čím menší je vyzařovací plocha, tím menší je i výstupní světelný tok. Dále byl určen z jednofázového zdroje celkový příkon svítidla a to 140 W.

Tab. 5-1 Parametry svítidel

Svítidlo	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Rastr elementů	1x1	2x2	4x4	7x7	17x17	1x1
Vyzařovací plocha Ar (m2)	0,25	0,16	0,1681	0,1225	0,1156	0,25
Křivka	Kosinová					
Příkon (W)	140					
Světelný tok (lm)	12487	8889	9767	7829	7739	12487
Měrný výkon (lm·W ⁻¹)	89	63	70	56	55	89

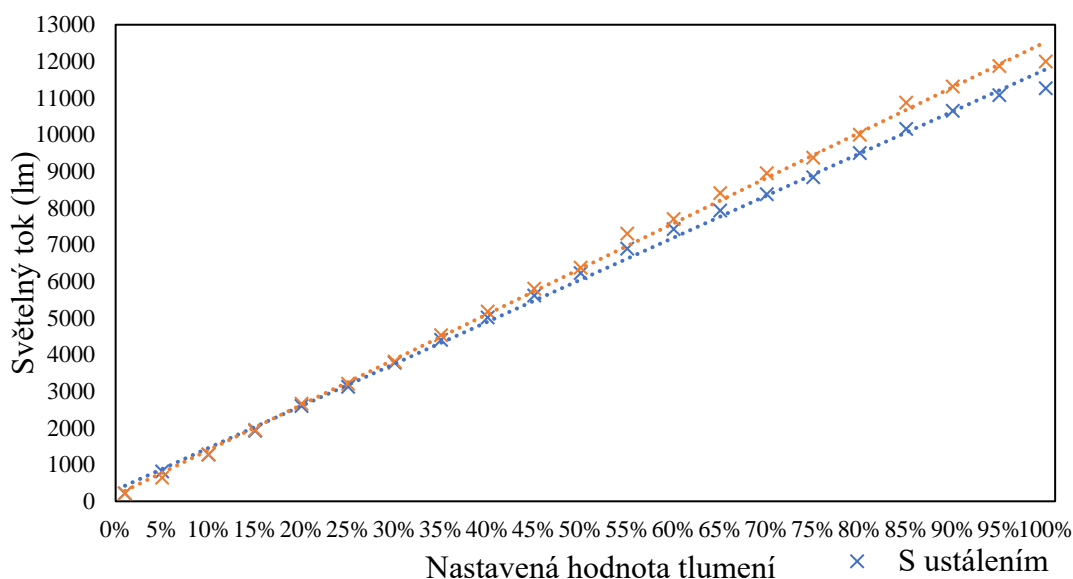
Pro kontrolu rozsahu náhradní teploty chromatičnosti svítidel bylo nutné připojit svítidlo na centrální jednotku a řídit ho za pomoci DALI protokolu programem Designer. Měření bylo provedeno v kulovém integrátoru o průměru 2,5 m. Měřeno bylo pouze svítidlo s maskou 1x1, nebylo nutné provést měření pro každou masku, protože změna masky nemá vliv na náhradní teplotu chromatičnosti. Možný rozsah nastavení náhradní teploty chromatičnosti programem byl od 2700 K až po 6500 K. Bylo provedeno měření pro maximální a minimální hodnotu rozsahu. Při nastavené minimální hodnotě náhradní teploty chromatičnosti 2700 K byla naměřena hodnota 2900 K. Při nastavené maximální hodnotě 6500 K byla naměřena hodnota 7000 K. Bylo zjištěno, že nastavované hodnoty zcela neodpovídají skutečné náhradní teplotě chromatičnosti, proto byly dále určeny hodnoty nastavení pro nejčastěji se vyskytující náhradní teploty chromatičnosti v oblasti osvětlovací techniky. Pro každou náhradní teplotu chromatičnosti byl určen maximální světelný tok. Nejnižší hodnota světelného toku byla naměřena pro nejnižší hodnotu teploty chromatičnosti, tedy pro nejteplejší barvu. Nejvyšší hodnota byla naměřena pro barvu chladnější. Shrnutí naměřených hodnot je uvedeno v *Tab. 5-2*.

Tab. 5-2 Náhradní teplota chromatičnosti svítidel.

Nastaveno T_C (K)	Naměřeno T_C (K)	Světelný tok (lm)
2700	2900	9265
3500	4000	10362
4250	5000	10818
5300	6000	11154
6500	7000	11360

Systémy řízení osvětlení v kombinaci s předřadnými systémy mohou mít rozdílnou charakteristiku tlumení. Jednoduché systémy využívají pouze regulaci příkonu bez přepočtu. To znamená, že nastavená procentuální hodnota bude charakterizovat příkon svítidla. Nastavená procentuální hodnota však nebude odpovídat procentuální hodnotě vystupujícího světelného toku ze svítidla, a to v důsledku nelineární závislosti světelného toku LED na příkonu. Sofistikovanější programy dokáží za pomoci přepočtu lineárně nastavovat světelný tok svítidla.

Pro určení charakteristiky tlumení u použitého systému bylo provedeno měření v kulovém integrátoru. Měření začalo pro nastavenou hodnotu 100 % pro náhradní teplotu chromatičnosti 7000 K. Po ustálení světelného toku bylo provedeno deset měření světelného toku, z nichž je průměrná hodnota rovna světelnému toku nastavené procentuální hodnoty. Stejný postup měření byl proveden pro celý rozsah možných nastavených hodnot s krokem 5 %. Výsledná charakteristika udávala charakteristiku tlumení při ustáleném světelném toku. Druhé měření bylo provedeno stejným postupem, ale bez ustalování světelného toku v jednotlivých krocích. Z grafické závislosti, uvedené na Obr. 5-1, bylo patrné, že systém patří mezi sofistikovanější a nastavuje přímo procentuální hodnotu světelného toku. Při porovnání závislosti ustáleného světelného toku a neustáleného byl pro vyšší hodnoty nastavení patrný rozdíl, kde neustálený světelný tok byl přibližně o 7 % vyšší než ustálený. Pro nižší hodnoty nastavení byl výstupní světelný tok shodný.

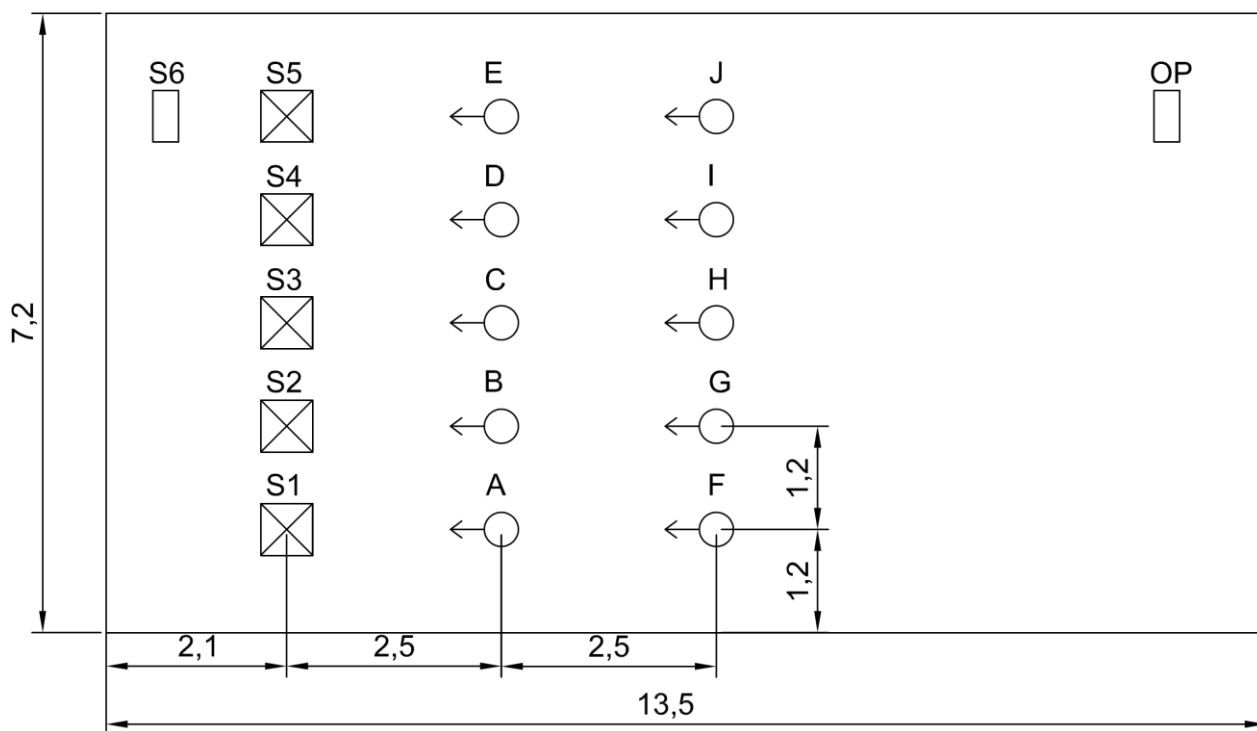


Obr. 5-1 Závislost výstupního světelného toku ze svítidla na nastavené hodnotě řídicího systému.

Pro nastavení svítidel bylo důležité, aby všechna svítidla měla shodný průměrný jas vystupující ze svítidla. Tato podmínka byla nezbytná k zajištění komparability výsledků. Z měření ve fotometrické laboratoři bylo určeno, že referenční svítidlo pro další nastavení je svítidlo s nejmenší vyzařovací plochou, kde je nejnižší vystupující světelný tok. Dále byla určena referenční náhradní teplota chromatičnosti a to 2900 K, protože při ní byl naměřen nejnižší světelný tok.

5.2 Nastavení experimentu

Experiment byl umístěn do učebny SA6.33 v budově T12 FEKT. Úkolem experimentu bylo stanovit oslnění od svítidel s různým stupněm uniformity a to měřením, subjektivním hodnocením a simulací. Pro tyto účely byla do učebny namontována do podhledového stropu svítidla S1, S2, S3, S4 a S5. Tato svítidla byla považována za zdroje oslnění. Svítidlo S1 charakterizovalo uniformní zdroj oslnění. Svítidla S2 až S5 představovala neuniformní zdroje oslnění. Svítidlo S6 bylo určeno k tvorbě adaptačního času a bylo využito při subjektivním hodnocení oslnění od pozorovatelů. Dále bylo v místnosti vytypováno deset pozic pozorovatelů označených v plánu na Obr. 5-2. Označení pozic bylo písmeny, aby nedocházelo k záměně se svítidly, které byly označeny číslicemi. Pozice OP ve schématu značí umístění ovládacího pracoviště. Pro správnost výsledku a možnou korektní opakovatelnost měření bylo potřeba dané pozice přesně zaměřit. To bylo provedeno za pomoci křížového čárového laseru.



Obr. 5-2 Schématické znázornění situace (rozměrové kóty jsou v metrech).

Nastavení svítidel proběhlo za pomoci programu Designer. Bylo potřeba, aby všechna svítidla měla shodný průměrný jas, při tom, aby bylo dosaženo jeho možného maxima. Proto bylo v kapitole 5.1. určeno svítidlo a náhradní teplota chromatičnosti, podle něž byla nastavena ostatní svítidla. Nastavovaly se dvě náhradní teploty chromatičnosti, a to nejstudenější nastavitelná barva 7000 K a nejteplejší nastavitelná barva 2900 K. Předběžné nastavení bylo

provedeno za pomoci hodnot v tabulce 5-1. Z ní byly vypočítány hodnoty nastavení pro svítidla S1, S2, S3 a S4 tak, aby byl jejich výstupní světelný tok shodný se svítidlem S5.

Dále bylo potřeba provést doladění daného nastavení, protože ve světelné laboratoři bylo měřeno pouze jedno svítidlo. To nám vneslo do nastavování svítidel chybu, která byla způsobena tím, že každý LED modul může mít výstupní světelný tok $\pm 10\%$. Doladění nastavení bylo provedeno za pomoci jasového analyzátoru LDA – LumiDISP. Jako snímací zařízení byla použita digitální zrcadlovka Nikon D7200. V prvním kroku byla umístěna pod svítidlo S5 a namířena přímo do svítidla. Na svítidle byla za pomoci programu Designer přivolána scéna, která spustila svítidlo S5 na 100 % při náhradní teplotě chromatičnosti 2900 K. Dále byl pořízen snímek, ze kterého byla určena intenzita osvětlenosti na objektivu zrcadlovky. Naměřená hodnota 762 lx byla potom brána jako referenční hodnota pro nastavování ostatních svítidel při náhradní teplotě chromatičnosti 2900 K. Stejně měření bylo provedeno u svítidla S5 při nastavené teplotě chromatičnosti 7000 K. Naměřená hodnota 728 lx byla brána jako referenční hodnota pro nastavování svítidel při teplotě chromatičnosti 7000 K. Postupně bylo měření provedeno pro každé svítidlo s tím, že u každého svítidla byly nalezeny hodnoty nastavení tak, aby naměřené hodnoty intenzity osvětlenosti byly co nejblíže referenčním hodnotám. Nešlo vždy dosáhnout stejných hodnot, jako byly referenční hodnoty, protože to nedovolovalo nastavení programu, kde je minimální možný krok jedno procento. Hodnoty nastavení pro jednotlivá svítidla a jednotlivé teploty chromatičnosti jsou uvedeny v Tab. 5-3. Výhodou použité měřicí metody pro nastavování svítidel bylo to, že zrcadlovka snímala pouze svítidlo a tím byl odstraněn příspěvek světelného toku způsobený odrazem od stěn, stropu, podlahy a vybavení učebny. V případě použití běžného luxmetru by bylo nastavení tímto příspěvkem ovlivněno a svítidla by neměla shodný průměrný jas.

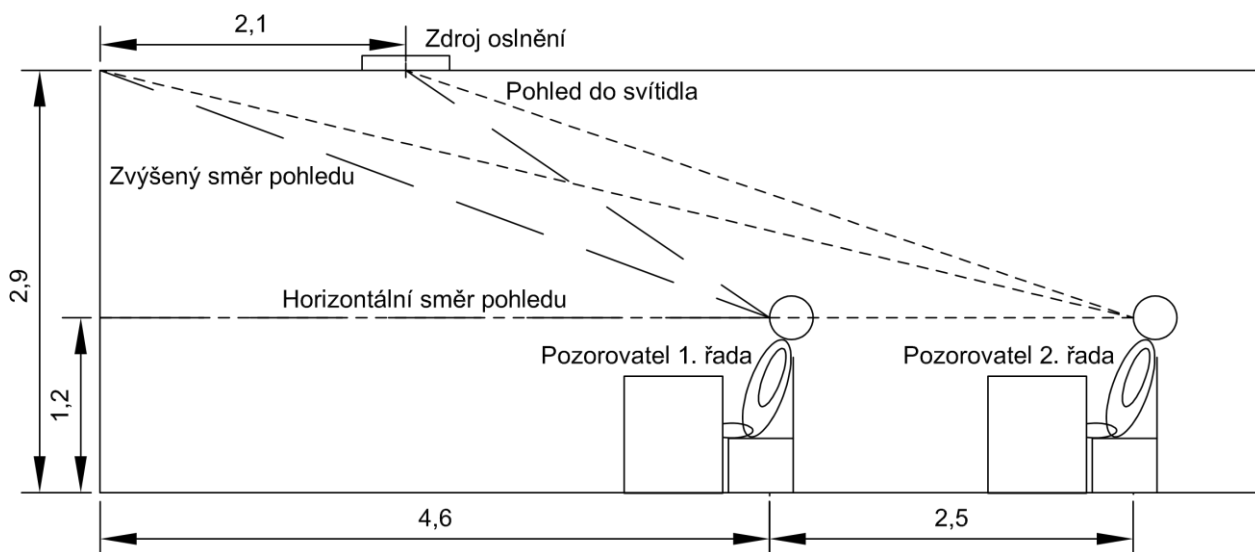
Tab. 5-3 Parametry svítidel

Svítidlo	S1	S2	S3	S4	S5
Nastaveno pro 7000 K	54 %	78 %	71 %	94 %	100 %
Nastaveno pro 2900 K	54 %	74 %	71 %	92 %	100 %

V programu Designer (verze 5.1.2.0) bylo vytvořeno pro účely měření jedenáct scén. Pro svítidla představující oslňující zdroje vždy po dvou scénách pro každé z nich. Jedna pro studenou barvu a druhá pro teplou barvu. Hodnota tlumení byla nastavena dle tab 5-3. Poslední scéna byla pro ovládání svítidla pro tvorbu adaptačního jasu, kde byla nastavena hodnota tlumení 30 % při náhradní teplotě chromatičnosti 4000 K. K snadnému ovládání byly v programu nastaveny virtuální vypínače Button 136, ty obsahují osm programovatelných tlačítek. Pro každou náhradní teplotu chromatičnosti byl nastaven jeden vypínač. Na tlačítka jedna až pět byly nastaveny scény odpovídající svítidlům S1 až S5. Na tlačítko označené nulou byla nastavena scéna adaptačního jasu. Každé tlačítko bylo nastaveno tak, aby rozsvítilo pouze požadované svítidlo na určenou procentuální hodnotu a vypnulo všechna ostatní svítidla. Tlačítka 6 a 7 zůstala volná. Ukázka prostředí Designeru a ovládacích tlačítek je uvedena v příloze D.

Po vybrání pozic pozorovatelů a nastavení svítidel bylo za potřebí určit směry pohledu pozorovatelů, ty definují činitel polohy, který je nedílnou součástí vztahu pro výpočet UGR. Jako první byl zvolen horizontální směr pohledu ve výšce 1,2 m v rovině rovnoběžné s delší stěnou místnosti procházející středem svítidla a pozorovací pozicí. Ve stejné rovině byl zvolen i druhý

směr pohledu, ten byl ale zaměřený na spojnicí mezi stropem a stěnou. Další směr pohledu byl přímo do svítidla, které svítí, to znamenalo dalších pět směrů pohledů pro každou pozici. Celkově tedy bylo z každé pozice definováno sedm směrů pohledů. Znázornění směru pohledu je uvedeno v Obr. 5-3.



Obr. 5-3 Schématické znázornění zadání pohledů pozorovatelů (rozměrové kóty jsou v metrech).

Pro každou pozici bylo tedy definováno hodnocení oslnění od pěti oslňujících zdrojů (svítidla S1 až S5) v horizontálním směru pohledu pro náhradní teplotu chromatičnosti 7000 K a 2900 K. Dále hodnocení oslnění od pěti oslňujících zdrojů ve zvýšeném směru pohledu opět pro dvě náhradní teploty chromatičnosti shodné s předchozí sadou hodnocení oslnění. Poslední skupinou hodnocení oslnění tvořil pohled přímo do zdroje oslnění opět pro dvě náhradní teploty chromatičnosti. Celkem tedy jedna pozice zahrnovala třicet situací pro hodnocení rušivého oslnění. Kvůli vysokému počtu hodnotících situací na jednu pozici bylo ustanoveno, že z důvodu vysoké únavy pozorovatelů by mohlo dojít k ztrátě jejich koncentrace a ke zvýšené únavě sítnice. Hodnocení by potom bylo zkreslené a nekorektní. Proto bylo pro účely experimentu využito pouze první řady pozorovatelů, tedy pozice A, B, C, D a E.

5.3 Simulace experimentu v programu Relux

Pro účely simulace byla vytvořena v programu Relux místnost, do které byl experiment umístěn. Odraznosti byly zvoleny dle návrhu popsaného v kapitole 4. a to 0,7 pro strop, 0,75 pro stěny a 0,4 pro podlahu. Udržovací činitel byl nastaven na jedničku. Svítidla a prvky místnosti byly rozmístěny tak, aby přesně odpovídaly rozmístění při jasové analýze a subjektivnímu hodnocení oslnění. Export daného uspořádání místnosti je uveden v příloze E.

Oslňující zdroje byly v simulaci reprezentovány za pomoci souboru fotometrických dat. Byl zvolen formát, který je jedním z nejčastěji využívaných pro světelné technické výpočty, a to formát Eulumdat. Formát Eulumdat je specifikovaný příponou názvu souboru „.ldt“. Pro výpočet oslnění jsou hlavním parametrem jasy oslňujících zdrojů. Jasy jsou určeny zjednodušeným výpočtem jasu na průmětných plochách ze známých hodnot svítivosti v daném směru. Problémem souboru fotometrických dat je, že využívají strukturu pěti základních vyzařovacích ploch, což je nedostatečné pro složitější tvary svítidel. Tento fakt znamenal pro simulaci experimentu to, že musela být utvořena pouze jedna vyzařovací plocha pro každý oslňující zdroj. Nebylo tedy možné v programu nasimulovat oslňující zdroje zcela totožné se skutečnými zdroji

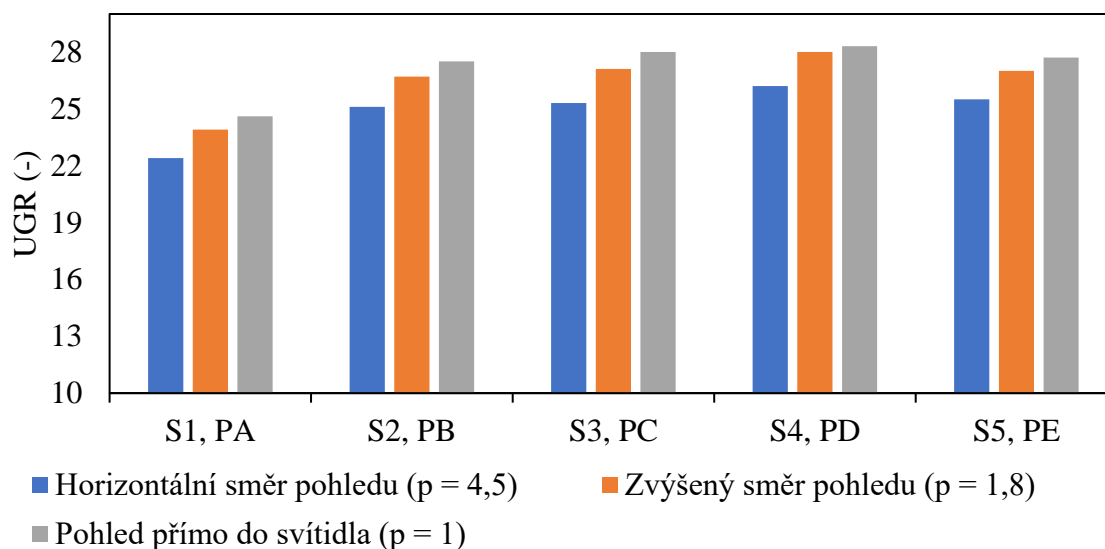
oslnění. To ukazuje na určitou nevhodnost programu pro výpočty rušivého oslnění od neuniformních zdrojů oslnění. V práci uvedené v kapitole 4 byla snaha toto omezení obejít rozdělením neuniformních zdrojů oslnění na více uniformních zdrojů. Při porovnání výsledku UGR od zdrojů oslnění rozdělených na více světelných zdrojů a zdrojů oslnění specifikovaných jedním světelným zdrojem, byl zjištěn rozdíl v rozsahu 2 %. Určený rozdíl je zanedbatelný, a proto je zbytečné dané rozdělení provádět [6].

Eulumdata zdrojů oslnění byla teda vytvořena z naměřených křivek svítivosti popsanych v kapitole 4-1. Z důvodu potřeby zavedení vlivu neuniformity oslňujících zdrojů do simulace, byla zadána plocha vyzařování zdrojů oslnění rovna součtu svítivých ploch jednotlivých zdrojů oslnění a ne celé vyzařovací ploše zdroje oslnění. Dále pro správnost simulace bylo nutné určit vhodný světelný tok, tak aby odpovídal se světelným tokem nastavení svítidel. Zdroje oslnění byly nastaveny na shodný průměrný jas po celé vyzařovací ploše. To znamená, že i jejich výstupní světelný tok byl shodný. Pro účely simulace byl vypočítán světelný tok z lineární závislosti uvedené na *Obr. 5-1*. Byla využita závislost bez ustálení světelného toku, protože při experimentu docházelo k častému přepínání svítidel a nedocházelo tedy k ustálení světelného toku. Světelný tok byl určený pro hodnotu nastavení S1 54 %, protože dané svítidlo bylo měreno. Světelný tok byl určený z regresní rovnice přímky

$$\phi = 12373 \cdot N_{S1_{54\%}} + 160,91 = 12373 \cdot 0,54 + 160,91 = 6842 \text{ lm}$$

Pro získání hodnot oslnění UGR byly do místnosti v programu vloženy na pozice pozorovatelů výpočtové body, v programu funkce s názvem „pozorovatel UGR“, do výšky 120 cm. V každém takovém výpočtovém bodě byla nastavena hodnota směru pohledu a natočení pozorovatele, tak aby odpovídala směřům a natočením určeným v předchozí kapitole.

Výsledné hodnoty UGR pro jednotlivé výpočtové body jsou uvedeny v příloze F. Pro simulaci nebylo uvažováno s teplou a studenou barvou, protože náhradní teplota chromatičnosti by neměla žádný vliv na výpočty programu. V sloupcovém grafu na *Obr. 5-4* je uvedeno porovnání vypočítaného UGR pro každé svítidlo a pozici ležící v rovině se svítidlem, tak aby byl shodný činitel polohy a prostorový úhel.



Obr. 5-4 Graf vypočítaných hodnot ze simulace.

Z grafu lze vyvodit, že se snižujícím se činitelem polohy se zvyšuje oslnění, což odpovídá teoretickým předpokladům. Dále je zde patrné, že se zmenšující se vyzařovací plochou oslňujícího zdroje při shodném výstupním světelném toku hodnota UGR stoupá. Pouze u zdroje oslnění S5 je vypočtena nižší hodnota UGR než u oslňujícího zdroje S4, i když mají skoro shodnou plochu vyzařování. To je způsobeno blízkostí stěny, kde odraznost zapříčinila zvýšení jasu pozadí.

5.4 Jasová analýza

Praktické měření pro zhodnocení rušivého oslnění od neuniformních zdrojů oslnění bylo provedeno za pomoci jasového analyzátoru LDA – LumiDISP. Základní charakteristika a princip funkce jasového analyzátoru byl shrnut v kapitole 4.1.

5.4.1 Postup měření

Prvním krokem před započnutím měření bylo upravení místnosti, tak aby přesně odpovídala simulaci experimentu. Rozmístění stolu, židlí a pozorovacích pozic tedy odpovídalo rozmístění, které je zachyceno v příloze E. Dále bylo potřeba zaznačit body fixace, které udávají směr pohledu. Pro horizontální a zvýšený směr pohledu byly fixační body zaměřeny za pomoci samonivelačního křížového laseru. Pro směry pohledu do svítidel nebylo nutné provádět značení, fixačním bodem v takovém případě byl střed svítidla, které svítí.

Aby bylo měření správné, bylo potřeba vyloučit příspěvek denního světla. Pro tento účel bylo využito zatažení venkovních a vnitřních žaluzií, to zajistilo dostatečné zamezení přísunu denního světla a žádné další přidavné zatemnění nebylo potřeba.

Funkci snímacího zařízení plnila digitální zrcadlovka Nikon D7000. Pro zachycení jasu pozadí byl použit širokoúhlý objektiv, který dokáže zachytit celý prostor. Protože svítidla blikají s určitou frekvencí, mohlo by při vyfocení scény pouze širokoúhlým objektivem docházet k nepřesnému vyhodnocení. Z daného důvodu byly zdroje oslnění dále snímány za pomoci 50 mm objektivu. Takto pořízené snímky anulovaly chybu blikání svítidel a také zachytily přesnější informace o jasu a prostorovém úhlu svítidla. Digitální zrcadlovka byla umístěna na stativ s panoramatickou hlavou, ta umožňovala nastavování zrcadlovky a objektivu tak, aby sestava rotovala kolem tzv. nodálního bodu. To zajistilo, že snímky byly v dané pozici pořizovány vždy ze stejného místa.

Dále byly v programu LumiDISP vytvořeny dvě sady nastavení expozic pro snímání fotoaparátu. Jedna sada nastavení pro širokoúhlý objektiv, kde byla nastavena clona 2 a devět dob expozic 2, 1, 1/2, 1/3, 1/10, 1/50, 1/100, 1/200, 1/500, 1/1000 a 1/2000 s. Druhá sada nastavení pro objektiv 50 mm, kde byla nastavena clona 1,8 a pět dob expozic 2, 1, 1/2, 1/3 a 1/5. Postup samotného měření byl stanoven následovně:

1. Umístění snímací sestavy s širokoúhlou optikou na měřicí pozici A.
2. Nasměrování na horizontální bod fixace.
3. Rozsvícení oslňujícího zdroje S1 7000 K a vyfocení fotografií za použití nastavení širokoúhlého objektivu.
4. Rozsvícení oslňujícího zdroje S1 2900 K a vyfocení fotografií za použití nastavení širokoúhlého objektivu.
5. Opakování bodů 3. a 4. pro zdroje oslnění S2, S3, S4, S5.
6. Nasměrování na zvýšený bod fixace a opakování bodů 3. až 5.

7. Zapnutí zdroje oslnění S1 7000 K. Nasměrování objektivu do středu zdroje oslnění S1 a vyfocení snímků použití nastavení širokoúhlého objektivu.
8. Zapnutí zdroje oslnění S1 2900 K. Nasměrování objektivu do středu zdroje oslnění S1 a vyfocení snímků použití nastavení širokoúhlého objektivu.
9. Opakování bodů 7. a 8. pro zdroje oslnění S2, S3, S4, S5.
10. Opakování bodů 1. až 9. pro pozici B, C, D a E.
11. Umístění snímací sestavy s objektivem 50 mm na měřicí pozici A.
12. Zapnutí zdroje oslnění S1 7000 K. Nasměrování objektivu do středu zdroje oslnění S1 a vyfocení snímků za použití nastavení pro objektiv 50 mm.
13. Zapnutí zdroje oslnění S1 2900 K. Nasměrování objektivu do středu zdroje oslnění S1 a vyfocení snímků za použití nastavení pro objektiv 50 mm.
14. Opakování bodů 12. a 13. pro zdroje oslnění S2, S3, S4 a S5.
15. Opakování bodů 11. až 14. pro pozici B, C, D a E.

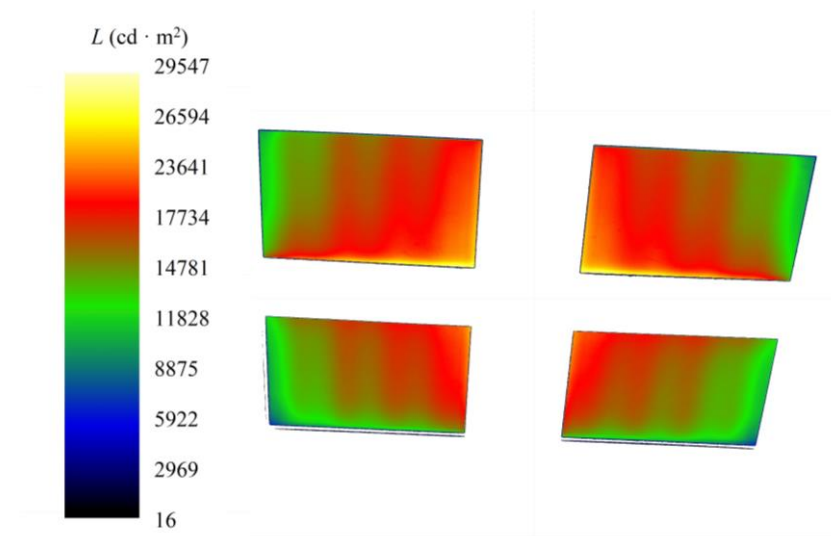
Celkem bylo širokoúhlou optikou pořízeno 150 sad snímků a pro optiku 50 mm 50 sad snímků. V součtu bylo nafoceno 1600 snímků. Aby byla zajištěna dobrá orientace ve snímcích, tak byla každá sada snímků ukládána na určitou pozici do předem připravené databáze. Pozice plnění definovala pozici měření, zdroj oslnění a směr pohledu. Snímky byly ukládány ve formátu RAW. Formát RAW obsahuje minimálně zpracovaná data ze snímače digitálního fotoaparátu.

5.4.2 Zpracování naměřených dat

Zpracování vyfocených snímků probíhalo v programu LDA – LumiDISP. V první řadě byly vybrány nejvhodnější snímky pořízené objektivem 50 mm, a to z každé sady měření jeden snímek. Bylo potřeba, aby takový vybraný snímek byl zaznamenán s takovým expozičním režimem, aby byl snímací čip digitální zrcadlovky správně vybuzen a nedocházelo k jeho saturaci. Tyto vybrané snímky byly přetransformovány na jasové mapy. V dalším kroku byly vybrány všechny snímky pořízené širokoúhlým objektivem a byly také převedeny na jasové mapy. Převedení nešlo provést společně, protože musely být nastaveny rozdílné převodní podmínky v závislosti na objektivu, kterým byly snímky pořízeny. Pro snímky pořízené širokoúhlým objektivem byl zadán pouze jasový kanál. Do snímků pořízených objektivem 50 mm byl přidán k jasovému kanálu i kanál prostorového úhlu.

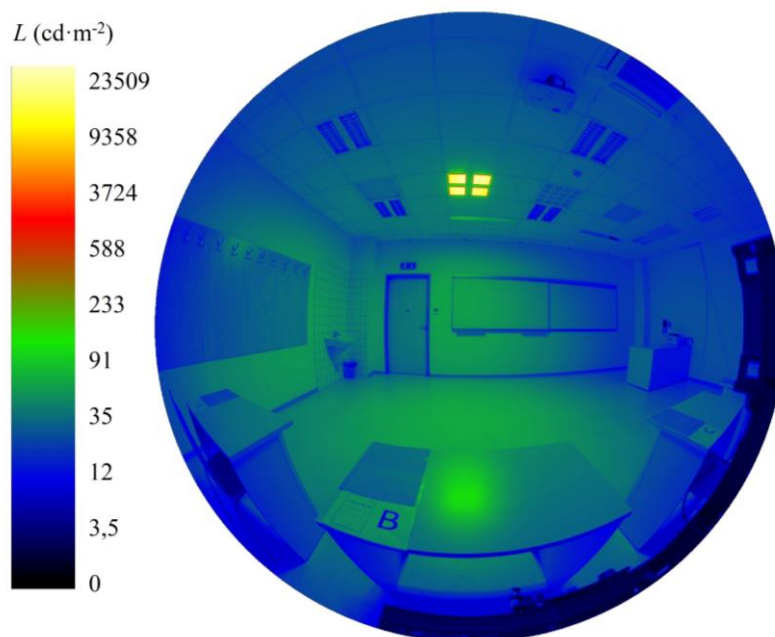
Jasové mapy detailů svítidel pořízené objektivem 50 mm sloužily primárně k určení jasu svítidel a určení prostorových úhlů. Ukázka detailního snímku zdroje oslnění S2 s rozložením jasu je uvedena na *Obr. 5-5*. K získání daných dvou veličin bylo přistoupeno dvěma metodami. První metoda se zaměřuje na vyzařovací plochu svítidel jako na jeden celek. Za pomoci funkce polygon byla tato plocha v každém snímku vybrána a za pomoci dávkového zpracování byl programem určen jas svítidel a jejich prostorový úhel. Druhá metoda využívá detekce svíticích ploch. Opět bylo využito funkce polygon, kterou byla vybrána celá oblast vyzařovací plochy svítidel, doplněná o funkci vymezení svítidel. Funkce vymezení svítidel vybrala pro výpočet jen oblasti o jasu vyšším než $500 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$. Dále byly vypočítány stejně jako u první metody hodnoty jasu a prostorového úhlu. První metoda přistupovala ke všem svítidlům jako k uniformním zdrojům, druhá metoda zahrnovala neuniformitu svítidel tím, že potlačila vliv masky svítidel na výpočet jasu a prostorového úhlu. Nabízela se možnost použití třetí metody, kde by byla neuniformní svítidla rozdělena na samostatná svítidla, dle počtu vyzařovacích segmentů. V kapitole 4.2 je prokázáno, že při rozdělení svítidla na samostatné zdroje dosáhneme téměř

shodných výsledků jako za použití metody s detekcí svítivých ploch. Proto tato metoda nebyla v měření zahrnuta.



Obr. 5-5 Detailní snímek svítidla - pozice pozorovatele PB, oslňující zdroj S2, náhradní teplota chromatičnosti 7000 K.

Pro další výpočty bylo nutné z jasových snímků pořízených širokoúhlou optikou vytvořit HDR fotografie, pro každou situaci hodnocení rušivého oslnění. Situace hodnocení oslnění je definována sadou devíti snímků jasových map s různou dobou expozice. Při nejdelší době expozice byly zachyceny nejméně jasné prvky, nejvíce jasné prvky byly zachyceny při nejkratší době expozice. Výsledná HDR fotografie pak byla vytvořena seskládáním všech devíti snímků v jeden celek. Program si sám vybral nejvhodnější části z každého snímku tak, aby výsledný HDR snímek pokryl celý dynamický rozsah zaznamenané scény. Celkem tedy bylo vytvořeno 150 HDR snímků. Ukázka seskládaného HDR snímku pořízeného z pozice B pro oslňující zdroj S2 je uvedena na Obr. 5-6.



Obr. 5-6 HDR snímek pozice pozorovatele PB, oslňující zdroj S2, náhradní teplota chromatičnosti 7000 K.

Z HDR snímků byly potřeba určit hodnoty jasu okolí, průměrného jasu oslňujícího zdroje, činitele polohy a prostorového úhlu. Pro jejich výpočet bylo v HDR snímku vybráno svítidlo funkcí polygon. Pro zpřesnění výběru svítidla byla funkce polygon opět doplněna o funkci výběr svítidla. Dále byly za pomoci analýzy UGR určeny všechny popsane hodnoty.

5.4.3 Vyhodnocení zpracovaných dat

Z jasové analýzy jsme ze snímků pořízených objektivem 50 mm, pro celkovou plochu vyzařování, získali hodnoty průměrných jasů zdrojů oslnění $L_{z_50_cs}$ a hodnoty prostorových úhlů Ω_{50_cs} . Ze stejné analýzy, ale pro vyzařovací plochu určenou funkcí výběr svítidla, byly získány hodnoty průměrných jasů zdrojů oslnění $L_{z_50_pj}$ a hodnoty prostorových úhlů Ω_{50_pj} . Ze snímků pořízených širokoúhlým objektivem byly získány hodnoty průměrných jasů zdrojů oslnění L_{z_FY} , hodnoty prostorových úhlů Ω_{FY} , hodnoty činitele polohy p , hodnoty jasů okolí L_p a program sám provedl z určených hodnot výpočet oslnění UGR_{FY} .

Protože cílem práce je nalézt co nejlepší metodu určení oslnění od neuniformních zdrojů oslnění, byly pro každou situaci hodnocení oslnění vypočteny další tři hodnoty UGR za využití klasického vzorce pro výpočet UGR, s různou kombinací vstupních hodnot. První vypočítaná hodnota UGR_{50_cs} neuvažovala žádnou modifikaci vzhledem k neuniformním zdrojům oslnění a na každé svítidlo bylo tedy pohlíženo jako na zdroj uniformní. Výpočet byl proveden dle vztahu:

$$UGR_{50_cs} = 8 \cdot \log \cdot \left(\frac{0,25}{L_p} \cdot \frac{L_{z_50_cs}^2 \cdot \Omega_{50_cs}}{p^2} \right) \quad (-; \text{cd} \cdot \text{m}^2, \text{cd}, \text{m}, -) \quad (5.1)$$

Druhá vypočtená hodnota UGR_{50_pj} zahrnovala modifikaci vzhledem k neuniformním zdrojům oslnění, a to že byly použity hodnoty prostorového úhlu a průměrného jasu pouze svítících ploch. Vztah pro výpočet byl:

$$UGR_{50_pj} = 8 \cdot \log \cdot \left(\frac{0,25}{L_p} \cdot \frac{L_{z_50_pj}^2 \cdot \Omega_{50_pj}}{p^2} \right) \quad (-; \text{cd} \cdot \text{m}^2, \text{cd}, \text{m}, -) \quad (5.2)$$

Třetí vypočtená hodnota $UGR_{50_pj_M}$ brala vyzařovací plochu zdroje oslnění jako celek vzhledem k prostorovému úhlu, ale hodnota průměrného jasu byla brána pouze ze svítících ploch zdroje oslnění. Došlo teda k modifikaci průměrného jasu oslňujícího zdroje. Výsledné hodnoty byly určeny dle vztahu:

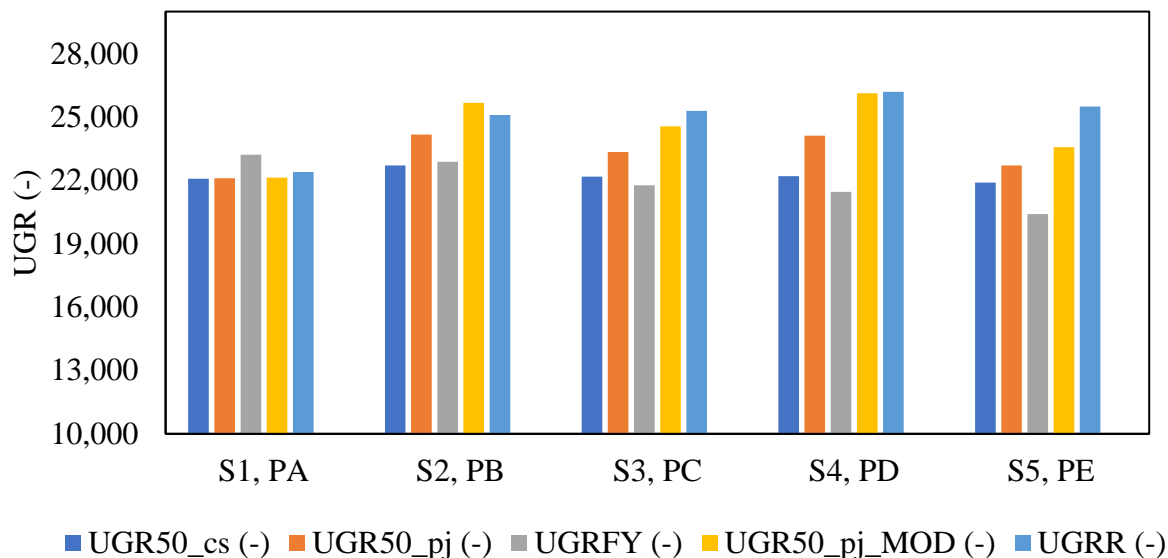
$$UGR_{50_pj_M} = 8 \cdot \log \cdot \left(\frac{0,25}{L_p} \cdot \frac{L_{z_50_pj}^2 \cdot \Omega_{50_cs}}{p^2} \right) \quad (-; \text{cd} \cdot \text{m}^2, \text{cd}, \text{m}, -) \quad (5.3)$$

Výstupy z jasové analýzy a vypočítané hodnoty UGR pro každou situaci hodnocení rušivého oslnění jsou uvedeny v příloze G. Pro porovnání jednotlivých metod výpočtu mezi sebou a se simulací byl vytvořen z výsledků graf uvedený na Obr. 5-7, ten dobře charakterizuje celou skupinu hodnocení. V grafu jsou uvedeny vypočítané hodnoty oslnění pro jednotlivá svítidla hodnocená z pozice se shodným činitelem polohy, při náhradní teplotě chromatičnosti 7000 K.

Z grafu lze pozorovat to, že vypočtená hodnota oslnění UGR_{50_cs} , je pro všechny zdroje oslnění shodná, to potvrzuje správnost nastavení svítidel. Dále lze pozorovat, že všechny vypočítané hodnoty oslnění pro uniformní zdroj oslnění jsou přibližně shodné, liší se pouze výpočet provedený z HDR snímku, chyba je způsobena skládáním HDR snímku. Pro neuniformní zdroje oslnění se vypočítané hodnoty liší, nejpřísnější metoda je pro hodnocení dle vzorce $UGR_{50_ej_M}$. Nejvyšší hodnota UGR modifikovanými metodami byla vypočítána pro zdroj

oslnění S4, to odpovídá provedené simulaci. Ostatní hodnocené situace oslnění vypočítané z jasové analýzy vykazují stejné vlastnosti jako popsané vlastnosti zhodnocené z grafu.

Z vypočítaných hodnot dále můžeme určit, že při přímém pohledu do svítidla pro neuniformní zdroje oslnění se při použití vzorců s modifikovanými vstupními hodnotami výpočtově dostáváme za hranici psychologického oslnění $UGR > 34$. Dostáváme se tedy do hodnot, které by se neměly v osvětlování interiérů vůbec vyskytovat. Dále lze pozorovat, že pro všechny zdroje oslnění jsme díky široké škále hodnotících pozic dostali velký rozsah hodnot UGR, to je nezbytné pro správné vyhodnocení zvolených metod výpočtů UGR.



Obr. 5-7 Graf vypočítaných hodnot z jasové analýzy a simulace experimentu.

6 SUBJEKTIVNÍ HODNOCENÍ OSLNĚNÍ

V praktickém měření jsme dostali soubor hodnot pro každý použitý vztah výpočtu UGR. Další soubor hodnot, byl určený ze simulace experimentu. Aby bylo možné vypočtené soubory dat porovnat vzhledem k reálným pozorovatelům a ověřit vhodnost výpočtových metod, bylo v experimentu provedeno subjektivní hodnocení oslnění od skutečných pozorovatelů.

Pro korektnost subjektivního hodnocení bylo potřeba velké množství různorodých pozorovatelů. Různorodost pozorovatelů zahrnuje demografické proměnné, vady oka, psychické stavy a jiné aspekty, které by mohly ovlivňovat hodnocení oslnění.

Samotné měření zahrnovalo vyplnění dotazníku o pozorovateli a následné subjektivní hodnocení oslnění od zdrojů oslnění S1, S2, S3, S4 a S5.

6.1.1 Informace o pozorovateli – dotazník

Experiment zahrnoval dotazník o pozorovateli proto, aby potvrdil různorodost pozorovatelů. Dalším úkolem bylo potvrzení, zda tyto různorodosti vůbec mají nějaký vliv na hodnocení rušivého oslnění vzhledem k uniformním i neuniformním zdrojům oslnění. Dotazník je uvedený v příloze H.

Základem pro tvorbu dotazníků bylo shrnutí poznatků o aspektech ovlivňujících hodnocení rušivého oslnění, které je uvedeno v kapitole 2.4. Mimo aspekty popsané v kapitole, jako je věk, barva vlasů, typ pleti, vady oka, únava, byly přidány do dotazníku další aspekty, které by mohly ovlivnit hodnocení rušivého oslnění. Jsou to znalosti v oblasti světelné techniky, pocit tepla, pocit sytosti, aktuální onemocnění, chronotyp, oblíbená barva, preferované tvary a užití návykové látky.

Znalosti v oblasti světelné techniky jsou zahrnuty proto, že čím více bude daný člověk proškolen v oblasti světelné techniky, tím bude mít větší představu o oslnění a bude následně ovlivněno jeho hodnocení. Chronotyp udává v jakém období dne je člověk aktivnější. Protože sovy jsou zvyklé ponocovat, budou zvyklejší na umělé osvětlení než skřivani, a to může ovlivnit hodnocení. Pociť tepla, pociť sytosti a aktuální onemocnění jsou spjaté s psychickou pohodou pozorovatele, která ovlivňuje hodnocení rušivého oslnění. Oblíbená barva udává, zda pozorovatel preferuje teplé nebo studené barvy, to by mohlo mít vliv na hodnocení rušivého oslnění vzhledem k náhradní teplotě chromatičnosti. U preferovaných tvarů je předpoklad, že by pozorovatelé, kteří preferují oblé tvary mohli podvědomě hodnotit oslnění od hranatých zdrojů oslnění jinak než pozorovatelé, kteří preferují hranaté tvary. Návykové látky, jsou v dotazníku uvedeny pro to, aby se mohli vyloučit pozorovatelé, kteří by byli výrazně pod jejich vlivem. Hodnocení od takových pozorovatelů by bylo silně zkreslené a kazilo by korektnost výzkumu.

6.1.2 Způsob hodnocení rušivého oslnění, postup měření

Aby nevznikaly aspekty ovlivňující hodnocení rušivého oslnění vlivem procedurálních faktorů, bylo třeba předem určit postup hodnocení oslnění a následný postup samotného měření.

Pro jednoduchost a snadnou vysvětlitelnost byla pro subjektivní hodnocení rušivého oslnění zvolena stupnice hodnocení od jedné do pěti. Hodnota pět označovala nejvyšší stupeň oslnění. Hodnota jedna potom značí stupeň bez oslnění. Stupnice využívala hodnocení, které se používá na základních a středních školách, to zabezpečovalo pochopitelnost hodnotící stupnice. Bylo možné stejně jako ve škole hodnotit i mezistupněm. To nakonec určilo devět stupňů hodnocení 1,

1,5, 2, 2,5, 3, 3,5, 4, 4,5 a 5. Pro každou pozici pozorovatelů byl vytvořený hodnotící dotazník. Hodnotící dotazník byl vytvořený tak, aby umožňoval zápis hodnocení rušivého oslnění pro všechny nachystané situace rušivého oslnění. To bylo třicet hodnotících situací. Dotazník obsahoval šest tabulek každá tabulka obsahovala hodnotící stupnici a všech pět zdrojů oslnění. Tabulky se od sebe lišily nadpisy, ty charakterizovaly směr pohledu a náhradní teplotu chromatičnosti. Na *Obr. 6-1* je uvedený vzor pro všechny tabulky. Dotazník dále obsahoval kolonku pro zápis data měření, identifikačního čísla a časového údaje. Identifikační číslo sloužilo k výsledné kompletaci dotazníků. Metoda hodnocení psanou formou zavádí do měření chybu, kdy pozorovatel musí vykonat úkon zápisu, proto se nabízela možnost slovního hodnocení a zapisování hodnot vedoucím měření. Tato metoda by ale znamenala, že by mohlo dojít k ovlivnění hodnocení mezi pozorovateli a mohlo by dojít k ztrátě subjektivity hodnocení, která je pro celé měření hlavním faktorem. Celý hodnotící dotazník pro jednu pozici je uvedený v příloze I.

Pozice X – Y – Z

Pocit oslnění	Svítidlo 1.	Svítidlo 2.	Svítidlo 3.	Svítidlo 4.	Svítidlo 5.
1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Obr. 6-1 Vzor tabulky pro hodnocení rušivého oslnění (X - A, B, C, D, E; Y – Horizontální směr pohledu, Zvýšený směr pohledu, Přímý pohled do svítidla; Z – Studená barva, Teplá barva).

Před započítáním každého subjektivního měření byla místnost nachystána tak, aby korespondovala s rozmístěním a uspořádáním místnosti při praktickém měření. Uspořádání místnosti je schematicky znázorněno v příloze E. Opět byly vyměřeny a zakresleny body fixace. Na každou hodnotící pozici byla umístěna značka, která udávala, o kterou pozici se jedná. Dále dotazníky pro hodnocení oslnění a obálka na umístění vyplněných dotazníků. Takto nachystané pracoviště je vyobrazeno na snímku v příloze J. Místnost byla stejně jako při jasové analýze zatemněná za pomoci venkovních a vnitřních žaluzií. V místnosti bylo před příchodem rozsvíceno svítidlo šest, aby byl vytvořen určitý adaptační jas a aby byl v místnosti možný bezpečný pohyb.

Protože se hodnotilo oslnění z pěti pozic, byl maximální počet pěti pozorovatelů na jedno měření. Postup měření pro pět osob byl stanoven následovně:

1. Přidělit pozorovatelům identifikační číslo, které bude sloužit ke zkompletování vyplněných dotazníků.
2. Vyplnění dotazníků o pozorovatelích.
3. Objasnění účelu výzkumu a popsání hodnotícího systému pozorovatelům.
4. Příchod do místnosti a usazení pozorovatelů na pozice A, B, C, D a E.
5. Dovysvětlení směrů pohledů, praktická ukázka fixačních bodů.

6. Usazení vedoucího experimentu na ovládací pracoviště.
7. Vybídnutí pozorovatelů k zapsání svého identifikačního čísla, datumu a času na dotazník připravený na hodnotící pozici.
8. Informování pozorovatelů o kterou hodnotící situaci půjde - horizontální směr pohledu, studená barva, číslo zdroje oslnění, který bude spuštěn S1.
9. Zapnutí zdroje oslnění S1 s náhradní teplotou chromatičnosti 7000 K po dobu 10 s.
10. Vypnutí zdroje oslnění S1 a rozsvícení svítidla S6 pro adaptační jas.
11. Vybídnutí pozorovatelů k zápisu subjektivně určené hodnoty do tabulky.
12. Opakování bodu 8. až 11. pro zdroje oslnění S2, S3, S4 a S5.
13. Informování pozorovatelů o kterou hodnotící situaci půjde - horizontální směr pohledu, teplá barva, číslo zdroje oslnění, který bude spuštěn S1.
14. Zapnutí zdroje oslnění S1 s náhradní teplotou chromatičnosti 2900 K po dobu 10 s.
15. Vypnutí zdroje oslnění S1 a rozsvícení svítidla S6 pro adaptační jas.
16. Vybídnutí pozorovatelů k zápisu subjektivně určené hodnoty do tabulky.
17. Opakování bodu 8. až 11. pro zdroje oslnění S2, S3, S4 a S5.
18. Opakování bodu 8 až 18 pro zvýšený směr pohledu a pro pohled přímo do svítidla.
19. Vybídnutí pozorovatelů k přesunu na další pozorovací pozici z A na B, z B na C, z C na D, z D na E a z E na A.
20. Opakování bodů 7 až 19 dokud každý pozorovatel neprojde všechny pozice.

Při subjektivním hodnocení byla v místnosti sledována teplota, tlak a vlhkost, aby byly splněny podmínky řádného měření. Celkem se subjektivního hodnocení zúčastnilo 62 pozorovatelů. Na každé pozici hodnotili 30 různých situací oslnění. To znamená, že jeden pozorovatel provedl 150 hodnocení oslnění. V součtu bylo provedeno 9300 hodnocení rušivého oslnění.

6.1.3 Zpracování subjektivního hodnocení oslnění

V prvním kroku byla provedena analýza dotazníků o pozorovatelích. Bylo zjištěno, že žádný pozorovatel nebyl pod výrazným vlivem návykových látek ani nijak těžce nemocný, a tedy žádné hodnocení nemuselo být vyřazeno.

Data ze subjektivního hodnocení rušivého oslnění bylo potřeba dále převést na hodnoty UGR. Použitá stupnice hodnocení zahrnuje devět hodnotících pozic. Nejnížší stupeň oslnění charakterizovala jednička, té byla přiřazena hodnota UGR 10, slovně pojmenováno jako neznatelné oslnění. Nejvyšší hodnotě oslnění – pětce, byla přiřazena hodnota 34, slovně pojmenováno jako nesnesitelné oslnění. Ostatní stupně byly rozděleny s krokem tři hodnoty UGR mezi dané meze. Převodní stupnice je uvedena v *Tab. 6-1*. Stejný převod byl použitý ve studii, kterou vypracoval H. Cai a T. Chung (2013), kde byla přímo použita devítibodová stupnice pro subjektivní hodnocení oslnění [23].

Tab. 6-1 Převodní tabulka pro subjektivní hodnocení oslnění.

Stav oslnění	Stupnice pro subjektivní hodnocení oslnění	Hodnota UGR
Neznatelné	1	10
Právě znatelné	1-2	13
Znatelné	2	16
Právě přijatelné	2-3	19
Nepřijatelné	3	22
Právě nepříjemné	3-4	25
Nepříjemné	4	28
Právě nesnesitelné	4-5	31
Nesnesitelné	5	34

Výsledný převodní vztah použitý pro výpočet hodnot UGR ze subjektivních hodnocení oslnění byl

$$UGR_P = 6 \cdot H_P + 4 \quad (-; -) \quad (6.1)$$

kde je

UGR_P hodnota UGR vypočtená ze subjektivního hodnocení pozorovatelů (-),

H_P hodnota oslnění určená pozorovatelem (-).

V dalším kroku byla pro každou situaci hodnocení oslnění vypočítána průměrná hodnota ze subjektivního hodnocení oslnění, ta je rozhodující pro porovnání se simulací a jasovou analýzou. Průměrná hodnota nejlépe vystihuje celou skupinu různorodých pozorovatelů.

6.1.4 Vyhodnocení aspektů ovlivňujících subjektivní hodnocení rušivé oslnění

V dané části jsou probrány trendy subjektivního hodnocení rušivého oslnění vzhledem k aspektům, které ho mohou ovlivnit. Neřeší se zde, zda pozorovatele více oslňuje uniformní nebo neuniformní zdroj, ale to, zda při hodnocení pro uniformní a neuniformní zdroje vykazuje shodné vlastnosti. Pro výpočty se zde uvažují vždy průměrné hodnoty oslnění v dané skupině řešených aspektů, vztažené na z nich nejvyšší průměrnou hodnotu. Uniformní zdroj oslnění zastupuje zdroj oslnění S1. Zdroje oslnění S2, S3, S4 a S5 představují skupinu neuniformních zdrojů

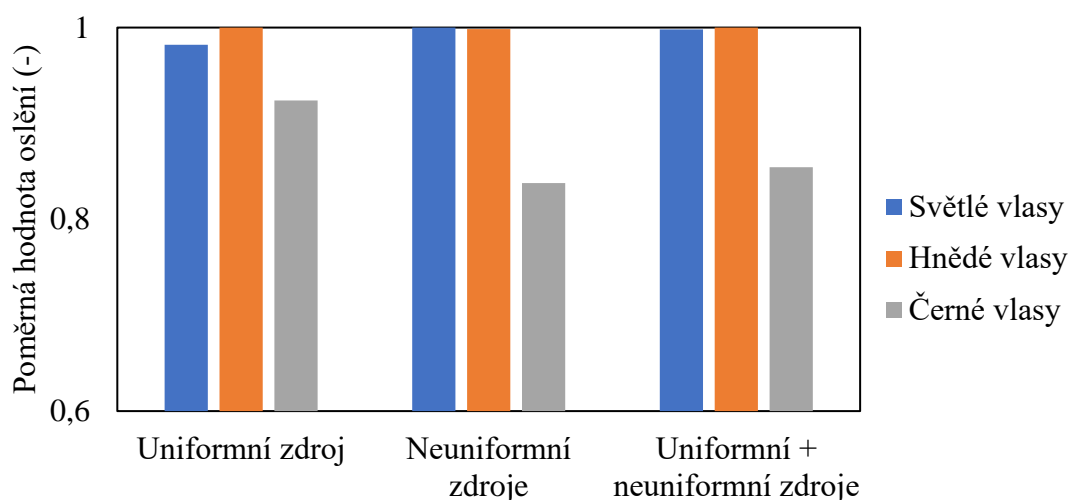
Prvním zkoumaným aspektem byl věk pozorovatelů. Měření se zúčastnili pozorovatelé ve věkovém rozsahu od 21 let do 92 let. Byli tedy rozděleni na čtyři věkové skupiny. První skupina v rozmezí 60 – 92 let zahrnovala 6 pozorovatelů. Druhá skupina v rozmezí 40 – 59 let zahrnovala stejný počet pozorovatelů jako první skupina tedy 6 pozorovatelů. Třetí skupina ve věkovém rozsahu 30 – 39 let zahrnovala 17 pozorovatelů. Nejvíce pozorovatelů 33 obsahovala čtvrtá skupina ve věkovém rozsahu 21 – 29 let.

Z analýzy všech subjektivních hodnocení oslnění od uniformních i neuniformních zdrojů, bylo určeno, že nejpřísněji hodnotila oslnění třetí věková skupina. Druhá věková skupina

hodnotila oslnění v průměru o 7,5 % mírněji než třetí věková skupina. První a čtvrtá věková skupina hodnotila oslnění průměrně o 13,5 % mírněji než třetí věková skupina, v přepočtu na UGR to dělá 3,24, tedy rozdíl jednoho stupně oslnění. Shodný trend hodnocení vykazuje i hodnocení pouze od neuniformních zdrojů oslnění. Odlišný trend nastane, uvažujeme-li pouze hodnocení oslnění od uniformního zdroje. V tom byla nejprísnejším hodnotitelem oslnění druhá věková skupina. Třetí věková skupina hodnotila průměrně oslnění o 3,5 % mírněji a první věková skupina pouze o 1,2 % mírněji. Čtvrtá věková skupina hodnotila oslnění od uniformního zdroje oslnění v průměru o 12,6 % mírněji než druhá věková skupina.

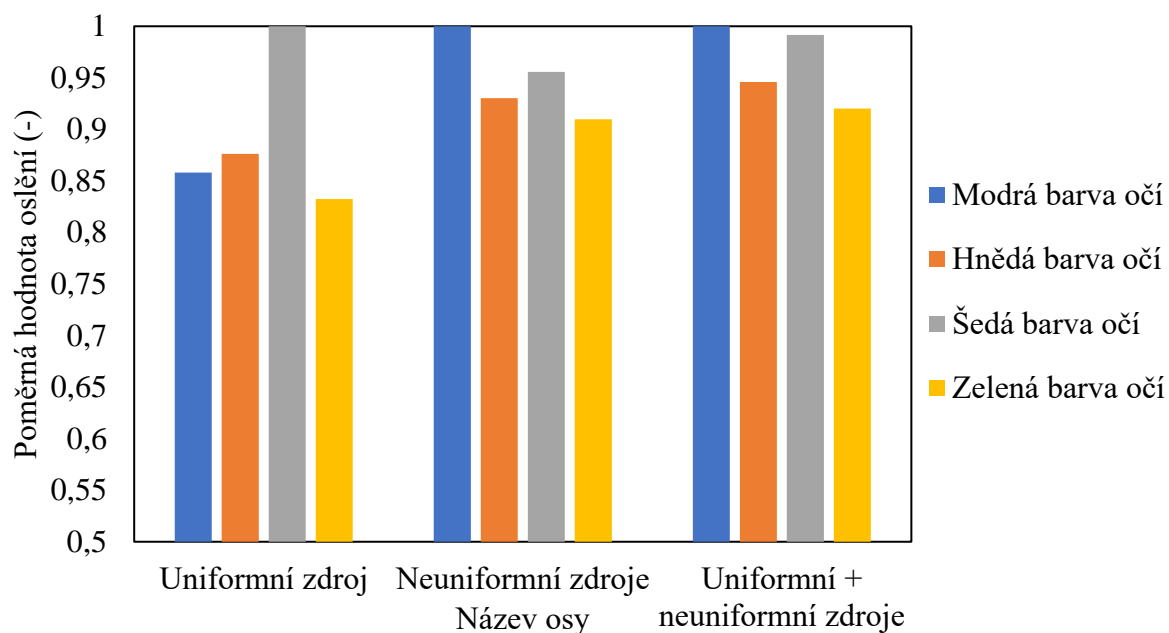
Hodnocení se zúčastnilo 16 žen a 46 mužů. Pro uniformní zdroj bylo hodnocení oslnění shodné. U neuniformních zdrojů mírněji hodnotily oslnění ženy a to o 8 % oproti mužům. Shodný trend vykazuje i hodnocení od uniformních i neuniformních zdrojů, kde ženy hodnotily oslnění průměrně o 7 % mírněji než muži.

V grafu na Obr. 6-2 je patrné, že oslnění hodnotili stejně přísně pozorovatelé se světlou barvou vlasů a hnědou barvou vlasů. Mírnější hodnocení pak bylo od pozorovatelů s černou barvou vlasů. Ti hodnotili oslnění průměrně o 16 % mírněji než pozorovatelé se světlou a hnědou barvou vlasů a to pro neuniformní zdroje oslnění. U uniformních i neuniformních zdrojů je pozorován shodný trend. Studie se zúčastnil pouze jeden pozorovatel se zrzavou barvou vlasů, proto není daná barva uvedena v porovnání. Pozorovatelů se světlou barvou vlasů se zúčastnilo 7. 35 pozorovatelů bylo hnědovlasých a 11 pozorovatelů černovlasých.



Obr. 6-2 Porovnání hodnocení oslnění od pozorovatelů s různým typem vlastní barvy vlasů (hodnoty jsou vždy vztažené k nejvyšší průměrné hodnotě oslnění skupiny definované zdrojem oslnění).

Dalším aspektem, který byl hodnocený, byla barva očí. Z pozorovatelů mělo 26 hnědou barvu očí, 18 modrou barvu očí, 14 zelenou barvu očí a 4 šedou barvu očí. Dle teoretických podkladů by měli být na oslnění nejcitlivější pozorovatelé s modrou barvou očí, to potvrzuje graf uvedený na Obr. 6-3. V něm je patrné, že nejprísnejší hodnocení rušivého oslnění pro celou skupinu hodnocení oslnění bylo určeno od pozorovatelů se světlou barvou vlasů. U uniformního zdroje lze pozorovat, že u něj nejprísnejši hodnotili oslnění pozorovatelé s šedou barvou očí. Skupina pozorovatelů s šedou barvou očí zahrnovala pouze 4 pozorovatele, to neleze považovat za statisticky významný vzorek, a proto nelze z daného poznatku učinit věrohodný závěr.



Obr. 6-3 Porovnání hodnocení oslnění od pozorovatelů s různou barvou očí (hodnoty jsou vždy vztahované k nejvyšší průměrné hodnotě oslnění skupiny definované zdrojem oslnění).

Dále bylo zjištěno, že pozorovatelé, kteří se zúčastnili hodnocení s brýlemi, hodnotili oslnění v průměru o tři procenta mírněji pro uniformní i neuniformní zdroje než pozorovatelé, kteří brýle neměli. To je zanedbatelný rozdíl. Pozorovatelů s brýlemi bylo 19. Pozorovatelů bez korekce zraku bylo 42.

Vyhodnocení měření vzhledem k znalostem v oblasti světelné techniky prokázalo, že pozorovatelé, kteří jsou znalými problematice osvětlování, hodnotili oslnění od neuniformních zdrojů v průměru o 12 % přísněji než pozorovatelé neseznámení s problematikou. Středně znalí hodnotili oslnění od neuniformních zdrojů v průměru o 5 % mírněji než znalí pozorovatelé. Oslnění od uniformního zdroje hodnotily všechny skupiny v průměru stejně. Z pozorovatelů bylo 20 neseznámených, 13 středně znalých a 29 znalých.

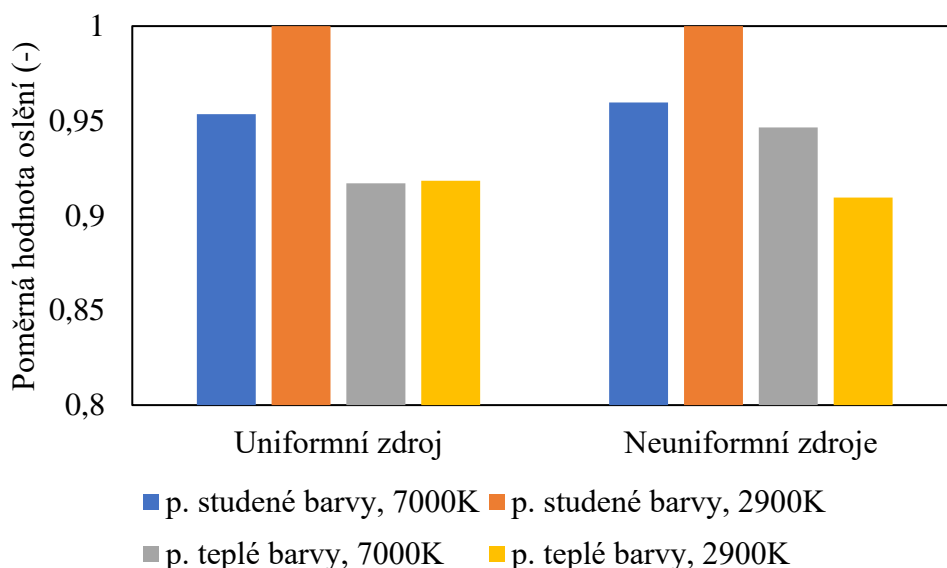
Dalším hodnoceným aspektem byla únava. Fyzicky unavení pozorovatelé hodnotili oslnění o 10 % přísněji u neuniformních zdrojů a o 13 % u uniformních zdrojů oslnění než pozorovatelé, kteří byli bez únavy. U psychicky unavených pozorovatelů bylo určeno, že hodnotili oslnění od neuniformních zdrojů v průměru o 5 % mírněji než pozorovatelé bez únavy. Pro uniformní zdroje byl pro průměrné hodnocení zjištěný rozdíl pouze 1 %.

Polovina z pozorovatelů preferovala hranaté tvary a polovina oblé. Pozorovatelé preferující hranaté tvary hodnotili oslnění od neuniformních zdrojů v průměru o 4 % přísněji a od uniformního zdroje v průměru 6 % přísněji než pozorovatelé preferující oblé tvary.

V dotazníku byl dále dotaz na chronotyp pozorovatelů. 28 pozorovatelů bylo nevyhraněný chronotyp, 8 skřivani a 26 sovy. Pro uniformní zdroj hodnotili oslnění v průměru nejpřísněji skřivani. Nevyhranění a sovy hodnotili oslnění o 3 % mírněji. Pro neuniformní zdroje hodnotily v průměru nejpřísněji sovy, a to o 3 % přísněji než skřivani a o 8 % přísněji než nevyhranění.

Z grafu, uvedeném na Obr. 6-4, lze pozorovat, že pozorovatelé, kteří preferovali barvu nacházející se v studené části hodnotili v průměru přísněji oslnění při nastavené náhradní teplotě chromatičnosti zdrojů oslnění 2900 než při nastavené náhradní teplotě chromatičnosti 7000 K.

Dále lze pozorovat, že pozorovatelé preferující teplé barvy hodnotili oslnění při náhradní teplotě chromatičnosti 2900 v průměru mírněji než při náhradní teplotě chromatičnosti 7000 K a to pro neuniformní zdroje oslnění. Pro uniformní zdroje hodnotili oslnění pro obě náhradní teploty chromatičnosti v průměru shodně. Měření se zúčastnilo 34 pozorovatelů preferující studené barvy a 28 pozorovatelů preferující teplé barvy.

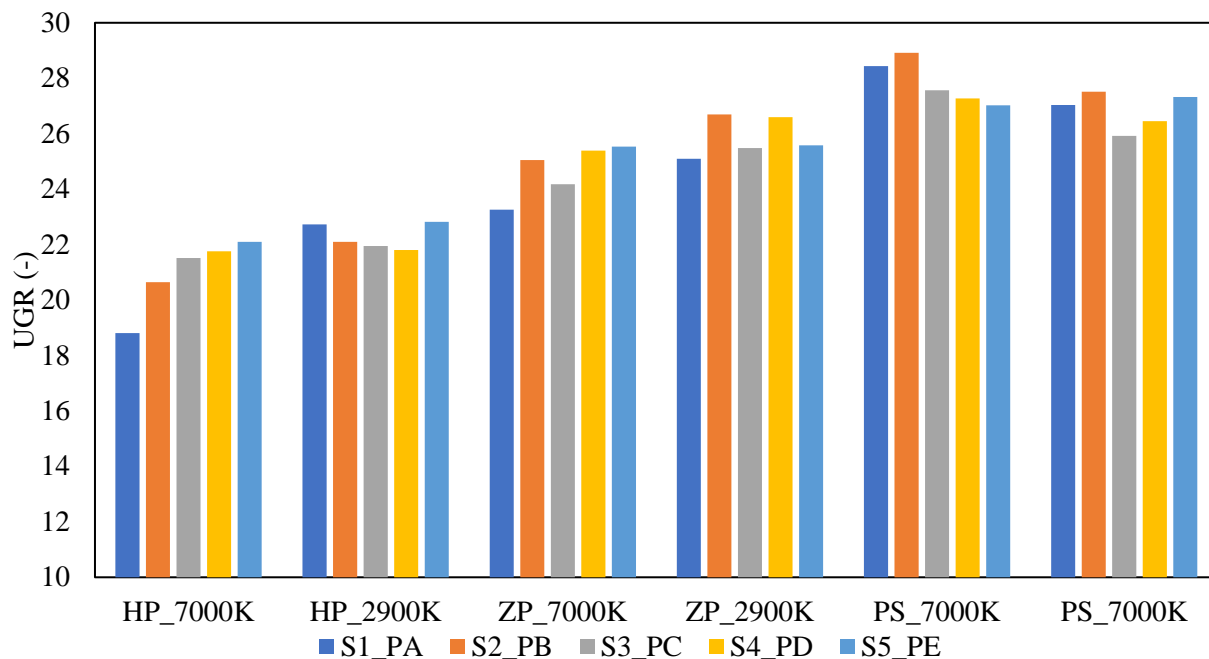


Obr. 6-4 Porovnání hodnocení oslnění od pozorovatelů s ohledem na preferovanou barvou (hodnoty jsou vždy vztahované k nejvyšší průměrné hodnotě oslnění skupiny definované zdrojem oslnění).

6.1.5 Vyhodnocení subjektivního hodnocení oslnění

Pro možnost vyhodnocení oslnění byly z hodnot získaných subjektivním hodnocením oslnění vytvořeny krabicové grafy, ty jsou uvedeny v příloze K. Krabicové grafy znázorňují rozdělení dat do kvartilů, zvýrazňují medián a odlehlé hodnoty. V příloze K jsou uvedeny grafy pro všechny zdroje oslnění a všechny situace hodnocení oslnění.

Z grafů na Obr. 6-5 lze pozorovat, že nejvyšší stupeň oslnění pozorovatelé vyhodnocovali pro přímý pohled do zdroje oslnění. Mírněji pak hodnotili oslnění při zvýšeném pohledu a nejmírněji při vodorovném pohledu. To odpovídá teoretickému předpokladu, že čím více bude zdroj oslnění v zorném poli pozorovatele, tím více bude oslňovat. Tento předpoklad potvrzuje i to, že pozorovatelé vyhodnocovali nejvyšším stupněm oslnění vždy zdroj, který se nacházel v dané pozici přímo před nimi, takže čím víc byl zdroj oslnění periferní tím mírnější bylo hodnocení pozorovatelů.



Obr. 6-5 Porovnání hodnocení oslnění od pozorovatelů pro zdroje oslnění S1, S2, S3, S4 a S5 pro shodné situace hodnocení oslnění.

Při porovnání hodnocení oslnění od jednotlivých zdrojů oslnění mezi sebou se muselo vycházet z toho, že u zdroje oslnění S3 byly pozorovací pozice duplikovány. Pozice A byla vzhledem ke svítidlu S3 shodná s pozicí E a pozice B byla vzhledem ke svítidlu S3 shodná s pozicí D. To znamenalo, že se při porovnání mohla brát hodnocení pouze z pozic ležících přímo před zdroji oslnění a dvě pozice vedlejší. Pozorovatelé v průměru nejpřísněji hodnotili oslnění od neuniformního zdroje oslnění S4. Pouze o procento mírněji hodnotili v průměru oslnění od neuniformního zdroje oslnění S2. O 4 % pak v průměru hodnotili mírněji oslnění od neuniformních zdrojů S3 a S5 a stejně tak i uniformní zdroj S1.

6.2 Porovnání subjektivního hodnocení se simulací a jasovou analýzou

Pro zjištění, zda některá z metod výpočtu je vhodná pro hodnocení oslnění od neuniformních zdrojů, bylo potřeba porovnat výstupy z jasové analýzy se subjektivním hodnocením oslnění. V první řadě byla pro každé svítidlo provedena korelační analýza. Ta určuje sílu lineární závislosti mezi veličinami a prokáže nám tedy, zda mají vypočtené hodnoty shodné rozložení jako hodnoty ze subjektivního hodnocení.

Pro výpočty korelace byl využit program Excel. Ten obsahuje funkci CORREL, která při zadání dvou souborů hodnot vrátí jejich korelační koeficient. Vypočtené korelační koeficienty pro všechny metody hodnocení oslnění jsou uvedeny v Tab. 6-2. Pro určení korelace byly brány průměrné hodnoty oslnění ze subjektivního hodnocení. V tabulce jsou uvedeny korelační koeficienty pro jednotlivé zdroje oslnění. Dále jsou v ní uvedeny korelační koeficienty pro komplet neuniformních zdrojů, ten zahrnuje hodnoty z hodnocení oslnění od zdrojů oslnění S2, S3, S4 a S5. Ten je zahrnut proto, aby bylo možné porovnat, zda je některá z metod vhodná pro komplexní hodnocení oslnění od neuniformních zdrojů.

Tab. 6-2 Výsledky korelační analýzy.

Metoda výpočtu UGR	UGR _{50_cs}	UGR _{50_pj}	UGR _{FY}	UGR _{50_pj_MOD}	UGR _R
Zdroj oslnění	<i>R</i> (-)	<i>R</i> (-)	<i>R</i> (-)	<i>R</i> (-)	<i>R</i> (-)
S1	0,81	0,81	0,83	0,81	0,89
S2	0,81	0,82	0,82	0,82	0,71
S3	0,88	0,88	0,88	0,88	0,87
S4	0,90	0,90	0,92	0,90	0,85
S5	0,81	0,81	0,83	0,80	0,89
Neuniformní zdroje komplet	0,85	0,85	0,86	0,85	0,82

Z tabulky vyplývá, že nejlepší korelace je zaznamenána pro hodnocení oslnění z HDR snímku. Metoda určení oslnění z HDR snímku zahrnuje výraznou chybu, proto nemá předpoklad k nejvyšší korelaci. Pro ověření správnosti vypočítaných korelací byly ze vstupních dat vyjmuty hodnoty pro přímý pohled do zdroje oslnění, který se běžně nevyskytuje a metoda výpočtu UGR pro něj není vhodná. Nově vypočítané korelace jsou uvedeny v Tab. 6-3.

Tab. 6-3 Výsledky korelační analýzy pro upravená vstupní data.

Metoda výpočtu UGR	UGR _{50_cs}	UGR _{50_pj}	UGR _{FY}	UGR _{50_pj_MOD}	UGR _R
Zdroj oslnění	<i>R</i> (-)	<i>R</i> (-)	<i>R</i> (-)	<i>R</i> (-)	<i>R</i> (-)
S1	0,85	0,85	0,85	0,85	0,87
S2	0,83	0,84	0,83	0,84	0,64
S3	0,91	0,91	0,89	0,91	0,86
S4	0,93	0,93	0,93	0,94	0,86
S5	0,83	0,83	0,86	0,83	0,89
Neuniformní zdroje komplet	0,87	0,88	0,88	0,88	0,80

Z nově vypočítaných korelačních koeficientů lze sledovat, že nejlepší korelaci zaznamenává metoda s modifikovaným průměrným jasem. Dále lze pozorovat, že při vyřazení dat hodnocení rušivého oslnění při přímém pohledu do svítidla zlepšilo korelaci pro uniformní zdroj oslnění. Korelace dat ze simulace pro uniformní zdroj je o 0,07 lepší než korelace dat ze simulace pro neuniformní zdroje.

Korelační analýza nám ukázala, že všechny metody mají poměrně dobrý korelační koeficient, tedy i dobré rozložení. Dále bylo potřeba určit, zda mají vypočítané hodnoty z jasové analýzy a simulace shodnou velikost s hodnotami určenými subjektivním hodnocením. Z daného důvodu byla pro každou vypočítanou hodnotu UGR z jasové analýzy a z hodnot UGR ze simulace vypočítána poměrná chyba, dle vztahu

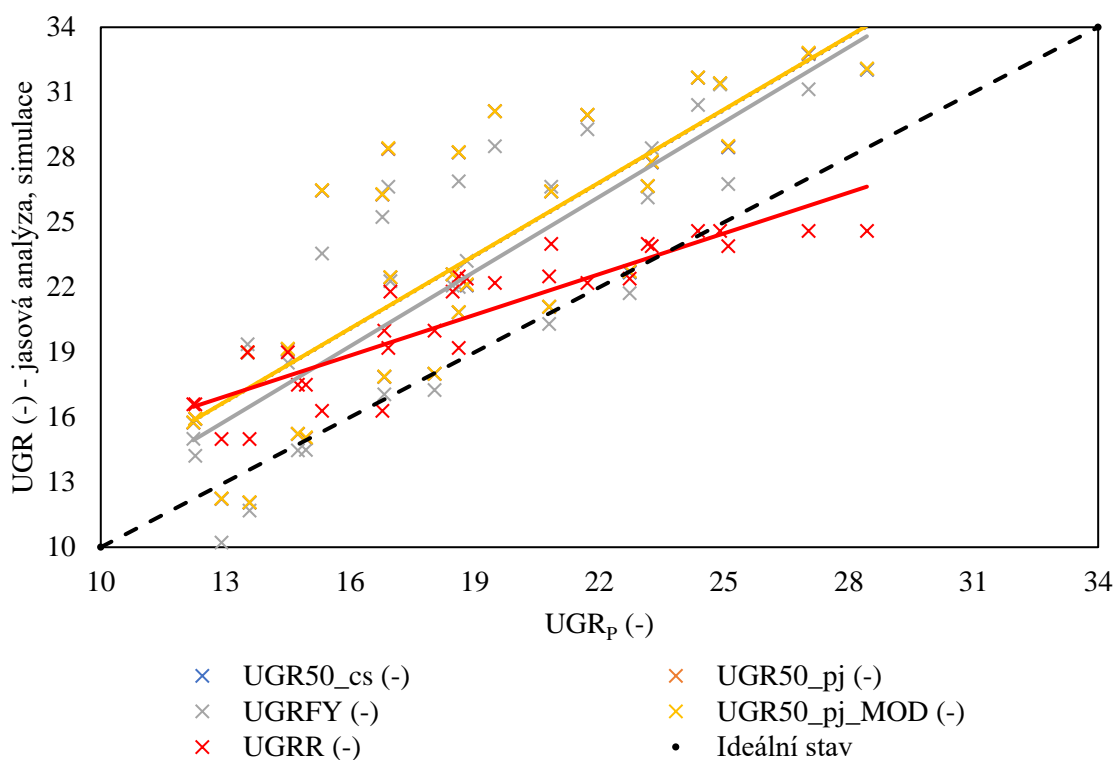
$$\delta_{\%UGRx} = \frac{UGR_x - UGR_p}{UGR_p} \cdot 100 \quad (\%; -, -, -) \quad (6.2)$$

kde je

UGR_P hodnota UGR vypočtená ze subjektivního hodnocení pozorovatelů (-),

UGR_x hodnota oslnění vypočítaná z jasové analýzy nebo simulace, kde x značí index metody (-).

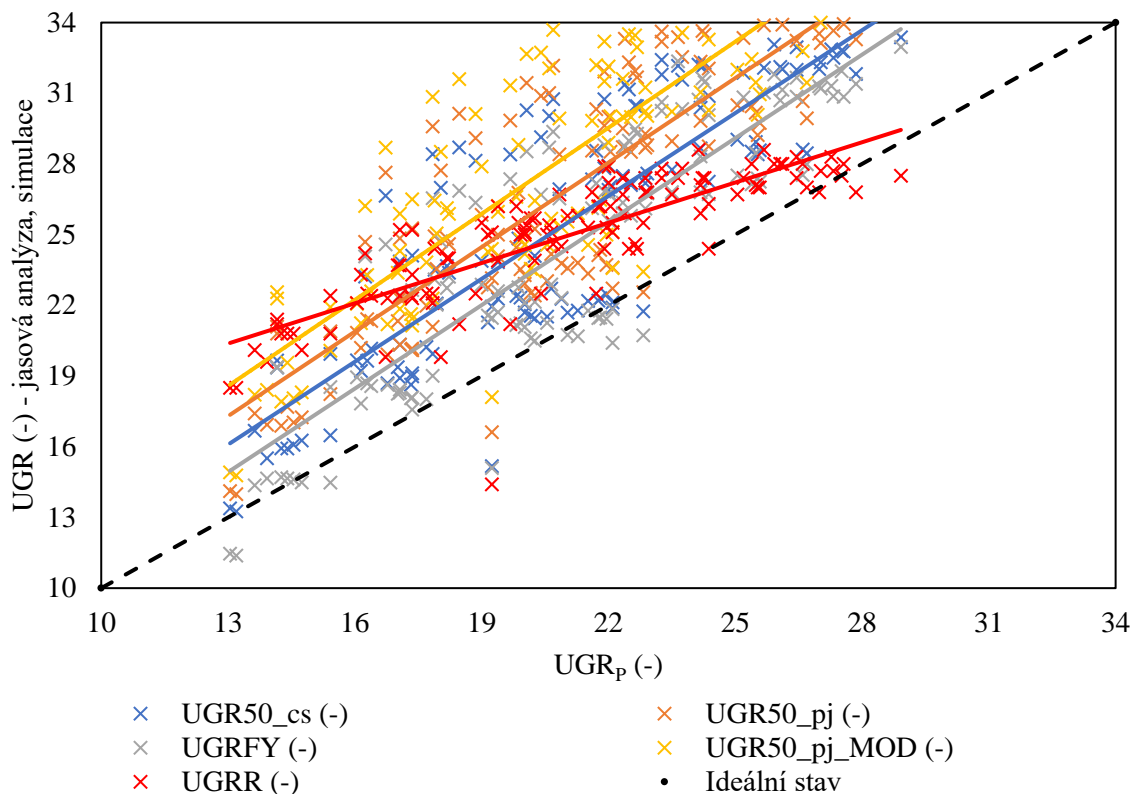
Vypočítané poměrné chyby jsou uvedeny v příloze L. Pro oslnění od uniformního zdroje oslnění vycházely poměrné chyby pro UGR_{50_cs} , UGR_{50_pj} a $UGR_{50_pj_M}$ přibližně stejně. Pro horizontální směr pohledu u uniformního zdroje oslnění byly chyby pro tyto vypočítané hodnoty UGR v rozsahu od 0,1 % až 17,7 %, pro zvýšený směr pohledu v rozsahu od 19,3 % až 40,4 % a pro přímý pohled v rozsahu od 12,7 % až 56,6 %. Pro hodnocení oslnění od uniformního zdroje oslnění UGR_{FY} byla poměrná chyba pro horizontální směr pohledu v rozsahu od 1,4 % až 18,3 %, pro zvýšený směr pohledu v rozsahu 12,8 % až 50,5 % a pro přímý pohled do zdroje oslnění v rozsahu od 15,2 % až 57,4. Hodnoty UGR ze simulace pro uniformní zdroj oslnění byly určeny s chybou pro horizontální směr pohledu v rozsahu od 1,4 % až 20,9 %, pro zvýšený směr pohledu v rozsahu 2,8 % až 40,4 % a pro přímý pohled do zdroje oslnění v rozsahu od 0,9 % až 13,9 %. Protože chyby jsou ve velkém rozsahu, byl pro přesnější představu vytvořený graf s přímkami regrese pro jednotlivé hodnocení oslnění od neuniformního zdroje. Graf je uvedený na Obr. 6-6. Z grafu je patrné, že většina hodnot leží nad ideální přímkou, to znamená, že všechny metody výpočtu vyhodnotily oslnění pro uniformní zdroj přísněji než pozorovatelé. Ideální stav značí nejlepší možnou korelaci a shodu naměřených hodnot oslnění se subjektivním hodnocením. Regresní přímky pro UGR_{50_cs} , UGR_{50_pj} a $UGR_{50_pj_M}$ se v grafu překrývají.



Obr. 6-6 Graf závislosti vypočítaných hodnot UGR na hodnotách UGR ze subjektivního oslnění pro uniformní zdroj oslnění S1.

U neuniformního zdroje oslnění byl určený velký chybový rozptyl stejně jako pro zdroj uniformní. Proto byla pro hodnocení oslnění od neuniformních zdrojů vytvořena stejná grafická závislost s regresními přímkami jako pro uniformní zdroj. Grafické závislosti pro jednotlivé

neuniformní zdroje jsou uvedeny v příloze M. Pro kompletní sadu hodnocení oslnění od neuniformních zdrojů je graf uvedený na Obr. 6-7.



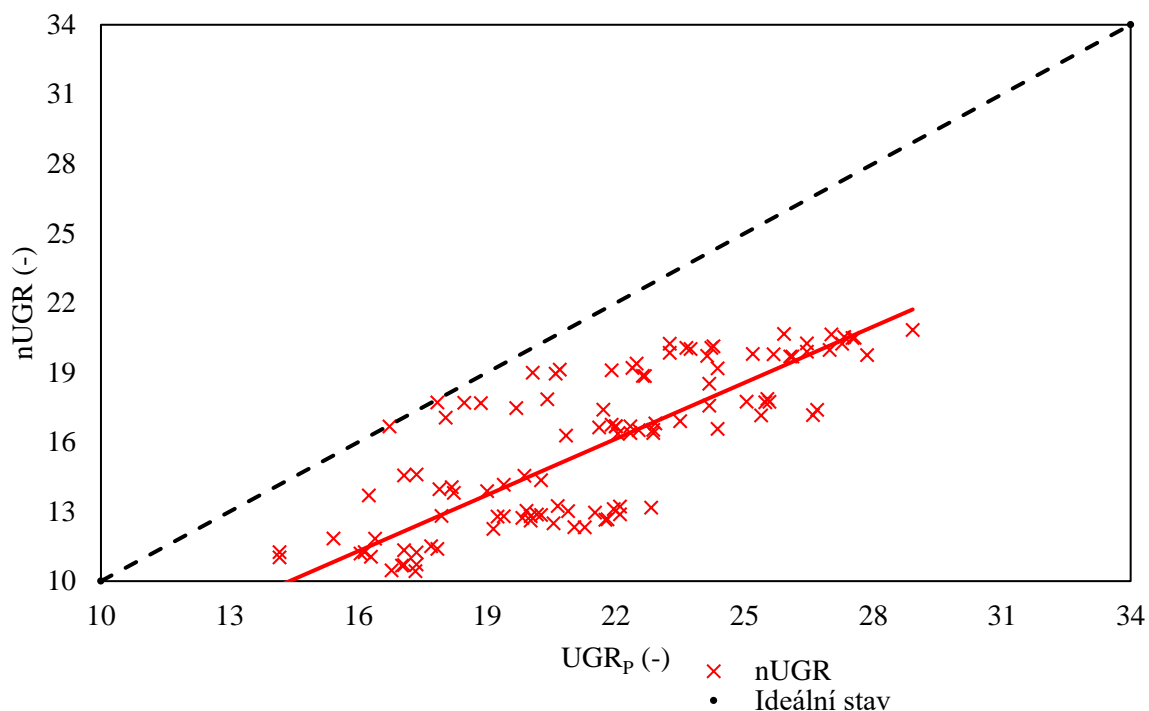
Obr. 6-7 Graf závislosti vypočítaných hodnot UGR na hodnotách UGR ze subjektivního oslnění pro neuniformní zdroje oslnění S2, S3, S4 a S5.

Z grafu lze pozorovat, že regresní křivka pro data ze simulace se přibližuje ideální přímce u vyšších hodnot oslnění, ale její korelace je rozdílná. Nejblíže ideální přímce je regresní přímka pro UGR_{FY} . To znamená, že danou metodou byly získány hodnoty UGR, které jsou nejbližší subjektivnímu hodnocení. Nejvíce vzdálená je pak regresní přímka pro $UGR_{50_pj_M}$, protože ta hodnotila oslnění nejprísněji. U regresních přímek uvedených v příloze M pro samostatné neuniformní zdroje lze pozorovat shodné vlastnosti, které jsou zde uvedeny pro celou skupinu neuniformních zdrojů.

Většina hodnot je stejně jako u uniformního zdroje nad ideální přímkou. To značí, že i pro neuniformní zdroje oslnění byli výpočtové metody příliš přísné. Podobné výsledky byly zaznamenány v jedné ze studií uvedených v kapitole 3.3.2. Ke zlepšení výsledků ve studii dospěli zavedením funkce neuniformity a upravením celého vztahu pro výpočet UGR. Nový postup byl vyzkoušen i pro řešenou situaci. Neuniformita byla určena jako podíl maximální hodnoty jasu k průměrné hodnotě jasu celého svítidla. Maximální hodnoty jasu zahrnovaly výstupy z jasové analýzy. Funkce uniformity byla vypočítána ze vztahu 3.9 a výsledná hodnota oslnění $nUGR$ dle vztahu 3.8 výsledné hodnoty jsou uvedeny v příloze N.

V grafu na Obr. 6-8 je uvedena závislost nově vypočtených hodnoty $nUGR$ na hodnotách UGR určených ze subjektivního oslnění pro neuniformní zdroje. Z grafu lze pozorovat, že hodnoty jsou výrazně pod ideální přímkou. Metoda hodnocení oslnění za použití vztahu $nUGR$ je tedy příliš mírná. Dále byla pro nově vypočítané hodnoty určena korelace se subjektivním

hodnocením a to 0,83. Vypočtená korelace je nižší než u metod z jasové analýzy, proto nelze sledovat hodnocení oslnění od zkoumaných neuniformních zdrojů za pomoci nUGR vhodné.



Obr. 6-8 Graf závislosti vypočítaných hodnot nUGR na hodnotách UGR ze subjektivního oslnění pro neuniformní zdroje oslnění S2, S3, S4 a S5.

Při shrnutí vyhodnocení můžeme konstatovat, že pro řešenou situaci hodnocení oslnění bylo nejpřesnějších hodnot UGR pro uniformní i neuniformní zdroje oslnění dosaženo za pomoci výpočtu pouze z HDR snímku. Všechny metody výpočtu UGR vycházející z jasové analýzy vykazovaly dobrou korelaci pro neuniformní zdroje oslnění, ale hodnotily oslnění přísněji než pozorovatelé. Protože se využíval pro výpočet klasický vzorec pro výpočet UGR, je možné, že celá metodika výpočtu je nastavená na vyšší hladinu, aby byl zajištěn zrakový komfort pozorovatelů. Celé hodnocení dále bylo ovlivněno faktem, že se hodnotily modelové situace oslnění, které nejsou běžné pro osvětlování interiéru. Byly hodnoceny situace při extrémních náhradních teplotách chromatičnosti s rozsvíceným jedním zdrojem oslnění o vysokém světelném výkonu. To mohlo zapříčinit posunutí hranice vnímání oslnění u pozorovatelů. Dalším faktem, který mohl zapříčinit, že pozorovatelé hodnotili oslnění mírněji, než vychází výpočty, byla nepřítomnost potřeby zrakového úkonu. Zrakovým úkonem se myslí například čtení nějakého textu. Při zrakovém úkonu by pozorovatelé mohli lépe posoudit vizuální faktory zapříčiněné oslněním.

7 ZÁVĚR

V první části diplomové práce byly shrnuty teoretické poznatky o příčině vzniku a následcích oslnění a specifikovány základní pojmy z oblasti světelné techniky, které s oslněním souvisejí. Dále bylo popsáno hodnocení rušivého oslnění. Nejdůkladněji byla prostudována metoda UGR, která je v současné době považována za nejvhodnější metodu hodnocení rušivého oslnění, a její modifikace. Součástí první části byl popis možností měření oslnění a to subjektivními metodami a objektivními metodami. Byly zjištěny nedostatky u obou metodik. Subjektivní metody podléhají chybě způsobené spoluprací se subjekty. Objektivní metody mají nedostatek v doposud nepřesně určené příčině vzniku oslnění. Konec první části byl věnován aspektům, které mohou ovlivnit hodnocení rušivého oslnění. Byly zjištěny tři hlavní skupiny aspektů procedurální faktory, psychologické faktory a demografické proměnné.

Rozboru neuniformních vyzařovacích ploch byla věnována druhá část práce. Ze shrnutých poznatků vyplývá, že oslnění způsobené neuniformním zdrojem oslnění je závislé na spoustě faktorů a je proto složité určit správný postup jeho hodnocení. V této části byly tyto faktory rozeepsány a byl určen jejich předpokládaný vztah vzhledem k oslnění.

Třetí část byla zaměřena na rozbor studií, které řešily problematiku hodnocení rušivého oslnění od neuniformních zdrojů oslnění. Prioritně byly popsány studie, které se zabývaly hodnocením oslnění pomocí modifikace vztahu nebo vstupních hodnot pro UGR. Všechny studie prokázaly modifikacemi zlepšení výsledné korelace výsledků. Dále byl teoreticky rozebrán a vyhodnocen experiment, z kterého vycházela praktická část vlastní práce.

Praktická část diplomové práce zahrnovala experiment, který byl složený ze simulace, praktického měření oslnění a subjektivního hodnocení oslnění. V experimentu se hodnotilo oslnění od pěti zdrojů oslnění. Jeden ze zdrojů oslnění byl uniformní, zbylé čtyři byly neuniformní s různým stupněm uniformity. Pro každý zdroj oslnění bylo předdefinováno 30 situací hodnocení oslnění tak, aby pro každý zdroj oslnění byla dosažena co nejširší škála hodnot oslnění. Základním kamenem pro experiment bylo správné nastavení svítidel. Aby bylo možné porovnat hodnoty oslnění od jednotlivých zdrojů mezi sebou, bylo nutné, aby všechna svítidla měla shodný průměrný jas. Proto byla svítidla podrobena sérii měření ve fotometrické laboratoři, abychom dostali co nejlepší přehled o vyzařování jednotlivých svítidel a charakteristice ovládání svítidel. Dalším krokem bylo nastavení svítidel, to bylo provedeno v programu Designer.

Simulace experimentu byla provedena v programu Relux. Pro simulaci byly využity křivky svítivosti svítidel naměřené ve fotometrické laboratoři tak, aby simulace co nejlépe odpovídala reálnému stavu. Do simulace byl prvek neuniformity zavedený zadáním velikosti vyzařovací plochy svítidel. Zadaná plocha byla rovna součtu svítících ploch.

Praktické měření oslnění bylo provedeno za pomoci jasové analýzy. Ta byla provedena v programu LDA – LumiDISP. Z jasové analýzy byly vypočítány hodnoty oslnění UGR a to čtyřmi metodami. První metoda vycházela pouze z měření širokoúhlým objektivem. Druhá metoda vycházela z kombinace hodnot naměřených širokoúhlým objektivem a objektivem 50 mm s tím, že průměrný jas a prostorový úhel pro všechny zdroje oslnění byl určený z celé vyzařovací plochy zdrojů oslnění. Třetí metoda vychází ze stejných dat jako druhá metoda, ale průměrný jas a prostorový byl zde určen pouze ze svítících ploch. Čtvrtá metoda opět vychází z kombinace dat získaných za použití obou objektivů, ale pro určení prostorového úhlu se uvažovalo s celou vyzařovací plochou, kdežto průměrný jas byl brán pouze ze svítících ploch.

Pro uniformní zdroj vyšly výsledné hodnoty pro všechny čtyři metody přibližně stejně. Pro neuniformní zdroje oslnění byla nejprísnejší čtvrtá metoda a nejmírnější první metoda. Z toho lze vyvodit, že do výpočtů se podařilo určitým způsobem zahrnout vliv neuniformity.

Pro možnost vyhodnocení použité měřicí metody bylo provedeno subjektivní hodnocení oslnění. Subjektivního hodnocení oslnění se zúčastnilo 62 pozorovatelů. Z daného počtu bylo 16 žen a 48 mužů. Věk pozorovatelů byl v rozsahu od 21 let do 92 let. Dostali jsme tedy poměrně širokou škálu pozorovatelů, která je nezbytná pro korektnost vyhodnocení. Každý z pozorovatelů hodnotil 150 rozdílných situací oslnění. Celkem tedy bylo provedeno 9300 subjektivních hodnocení. V subjektivním hodnocení byly vyhodnocovány aspekty, které mohou ovlivnit hodnocení oslnění. U některých aspektů byl zaznamenán jejich jistý vliv, ale problém je, že výsledný vliv je dán složením celé škály faktorů a pro utvoření správných závěrů by byla potřeba větší škála pozorovatelů.

Závěr práce je zaměřen na porovnání vypočítaných hodnot UGR z jasové analýzy a simulace s hodnotami oslnění získanými v subjektivním hodnocení oslnění. Pro uniformní zdroje dosahují použité metody z jasové analýzy korelace 0,85 po vyloučení dat pro přímý pohled do zdroje oslnění. Pro simulaci dosahuje korelace hodnoty 0,87. Vypočítané hodnoty jsou v průměru vyšší než hodnoty ze subjektivního hodnocení oslnění. U neuniformních zdrojů byla vypočítána shodná korelace pro UGR_{FY} , $UGR_{50_{pj}}$ a $UGR_{50_{pj_M}}$ a to 0,88. Pro $UGR_{50_{cs}}$ byla vypočítána o procento nižší. Nejnižší korelace u neuniformních zdrojů byla vypočítána pro hodnoty oslnění ze simulace a to 0,8. Použité metody vykazují dobrou korelaci pro neuniformní zdroje oslnění, ale všechny hodnotí oslnění přísněji než pozorovatelé. Proto byla dále vyzkoušena modifikovaná metoda výpočtu $nUGR$. U vypočítaných hodnot touto metodou byla zaznamenána horší korelace než pro metody z jasové analýzy a celkové hodnocení oslnění bylo výrazně nižší než u subjektivního hodnocení. Proto není použití dané metody vhodné pro výpočet rušivého oslnění od zkoumaných neuniformních zdrojů.

Z celkového shrnutí bylo dosaženo nejlepších výsledků oslnění od neuniformních zdrojů oslnění pro zadanou situaci za pomoci metody UGR_{FY} .

Vlastním přínosem této práce je nejen teoretické shrnutí poznatků o hodnocení oslnění od neuniformních zdrojů, ale i praktické vyzkoušení určitého postupu hodnocení rušivého oslnění od neuniformních zdrojů oslnění. Další velký přínos práce je nashromáždění velkého množství surových dat hodnocení oslnění ať už z jasové analýzy nebo ze subjektivního hodnocení. Data je možné použít pro další výzkum.

7.1 Návrh dalšího postupu

Vzhledem k tomu, že pro všechny situace hodnocení oslnění jsou vytvořeny snímky, je možné vyzkoušet jiný přístup ke zpracování snímků a využít některou z modifikací uvedených v kapitole 3.3.

Vlastní práce řeší modelové situace oslnění s různými extrémy. Celé měření bylo ovlivněno různou pozicí svítidel v místnosti. Pro dosažení přesnějších výsledků by bylo potřeba provést měření v místnosti, kde by byly potlačeny odraznosti prvků místnosti. Zdroj oslnění by byl vždy umístěn na stejné místo. Na zdroji oslnění by byly postupně nastavovány takové hodnoty světelného toku, aby byl obsáhnutý celý rozsah hodnot UGR. Pro zpřesnění měření by mohlo být u subjektivního hodnocení využito zadání určitých úkonů ať už vizuálních, sluchových či hlasových.

Další zlepšení představy o zkoumaných neuniformních zdrojích by nastalo, kdyby byly zkoumány v reálných instalacích při běžných pracovních úkonech, jako je výuka, kancelářské práce apod.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] HABEL, J. *Světlo a osvětlování*. Praha: FCC Public, 2013, 622 s. ISBN 978-80-86534-21-3.
- [2] GAŠPAROVSKÝ, D. SMOLA, A. *Návrh umělého osvětlení interiérů a exteriérů*. Bratislava, 2011. 262 s. ISBN 978-80-8106-046-5.
- [3] HABEL, J., ŽÁK, P. *Elektrické světlo 1*. Praha, 2011.
- [4] SCHEIR, G.H. at al. *Calculation of the Unified Glare Rating based on luminance maps for uniform and non-uniform light sources*. *Building and Environment*, (84) 2015, p. 60-67.
- [5] ŽÁK, P. *Zábrana oslnění při návrzích osvětlení* [online]. [cit. 2016-12-21]. Dostupné z: <https://goo.gl/OYuLVW>
- [6] POLIÁN, J. *Oslnění od svítidel s neuniformní vyzařovací plochou*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2017. 73 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jan Škoda, Ph.D.
- [7] TYUKHOVA, Y. *Discomfort glare from small, high luminance light sources in outdoor nighttime environments (2015)*. Architectural Engineering -- Dissertations and Student Research. Paper 36.
- [8] ROTREKL, M. *Hodnocení oslnění vnitřních a venkovních soustav*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2015. 67 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jan Škoda, Ph.D.
- [9] HARA, N.; HASEGAWA, S. Study on Discomfort Glare Rating on the Luminaire with LED Array. In: *Journal of Illuminating Engineering Institute Japan* 96 (2), 2012, p. 81–88.
- [10] EBLE-HANKINS, M. *Subjective impression of discomfort glare from sources of nonuniform luminance (2008)*. Architectural Engineering -- Dissertations and Student Research. Paper 1.
- [11] FOTIOS, S. *Uncertainty in subjective evaluation of discomfort glare*. *Lighting Research & Technology*, 2015, 47 (3). 379 – 383. ISSN 1477-1535.
- [12] Bargary, G. Jia, Y. Barbur, J.L. *Mechanisms for discomfort glare in central vision*. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2015; 56: 464–471. DOI: 10.1167/iovs.14-15707.
- [13] CORWIN, A a BENNETT. *Discomfort Glare: A Review of Some Research*. Kansas State University, Manhattan. Dostupné z: <http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1979/737/737-012.pdf>
- [14] Baxant, P. *Světelná technika*, Elektronický text č. EEN608, Přednášky a cvičení. Brno: 2006. s. 1-82. (cs).
- [15] Biery, E. *Understand the lighting flicker frustration*. *LEDs MAGAZINE*. 2015. Dostupné z: <http://www.ledsmagazine.com/articles/print/volume-12/issue-11/features/flicker/understand-the-lighting-flicker-frustration.html>
- [16] LIN, Y. et al. *Eye Movement and Pupil Size Constriction Under Discomfort Glare*. *Physiological Responses Under Discomfort Glare*. *Investigative ophthalmology & visual science*, 2015, 56.3: 1649-1656.
- [17] NIEDLING, M., VÖLKER, ST., KNOOP, M., BÖHM, M. *LED's in der Strassenbeleuchtung – wahrnehmbar oder nicht?* *Proceedings of Alicht 2014*, The Hague, The Netherlands, 2014 p. 450-455.

-
- [18] TAKAHASHI, H. et al. Position index for the matrix light source. *Journal of Light and Visual Environment* 2007, 31, 128-133.
- [19] TASHIRO, T. et al. Discomfort glare for white LED light sources with different spatial arrangements. *Lighting Research & Technology* 2015, 47, o. 316-337.
- [20] HIGASHI, H., KOGA, S., KOTANI, T. *The development of evaluation for discomfort glare in LED lighting of indoor work place: the effect of the luminance distribution of luminous parts on subjective evaluation*. In *Proceedings of CIE Centenary Conference: Toward a New Century of Light*. 2013. p. 648-656.
- [21] FUNKE, C., SCHIERZ, CH. *Extension of Unified Glare Rating Formula for Non-Uniform LED Luminaires*. Proceedings of 28th session of the CIE, Manchester, UK, 2015, p. 1471-1480.
- [22] KOGA, S., HIGASHI, H., KOTANI, T. *The development of evaluation for discomfort glare in LED lighting of indoor work place. The modification of G-classification using luminance distribution of luminous parts*. Proceedings of CIE Centenary Conference, Paris, France, 2013, p. 657-662.
- [23] CAI, H., CHUNG, T., *Evaluating discomfort glare from non-uniform electric light sources*. *Lighting Research and Technology*, 2013; 45: 267-294.

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A – Konstrukce svítidel.

- A1 – Snímek zachycující hustotu osazení LED svítidel.
- A2 – Snímek zachycující předřadná zařízení svítidel.

Příloha B – Masky svítidel.

Příloha C – Křivky svítivosti.

Příloha D – Prostředí programu pro ovládání svítidel Designer.

Příloha E – Exportované uspořádání místnosti z programu Relux.

Příloha F – Vypočítané hodnoty UGR ze simulace.

Příloha G – Naměřené a vypočítané hodnoty z jasové analýzy.

Příloha H – Dotazník pro subjektivní hodnocení rušivého oslnění – informace o pozorovateli.

Příloha I – Dotazník pro subjektivní hodnocení rušivého oslnění – hodnocení oslnění pozice A.

Příloha J – Uspořádání pracoviště pro subjektivní hodnocení oslnění.

Příloha K – Grafické znázornění výstupů ze subjektivního hodnocení oslnění.

- K1 – Grafické znázornění subjektivního hodnocení oslnění od uniformního zdroje oslnění S1.
- K2 – Grafické znázornění subjektivního hodnocení oslnění od neuniformního zdroje oslnění S2.
- K3 – Grafické znázornění subjektivního hodnocení oslnění od neuniformního zdroje oslnění S3.
- K4 – Grafické znázornění subjektivního hodnocení oslnění od neuniformního zdroje oslnění S4.
- K5 – Grafické znázornění subjektivního hodnocení oslnění od neuniformního zdroje oslnění S5.

Příloha L – Vypočítané poměrné chyby UGR.

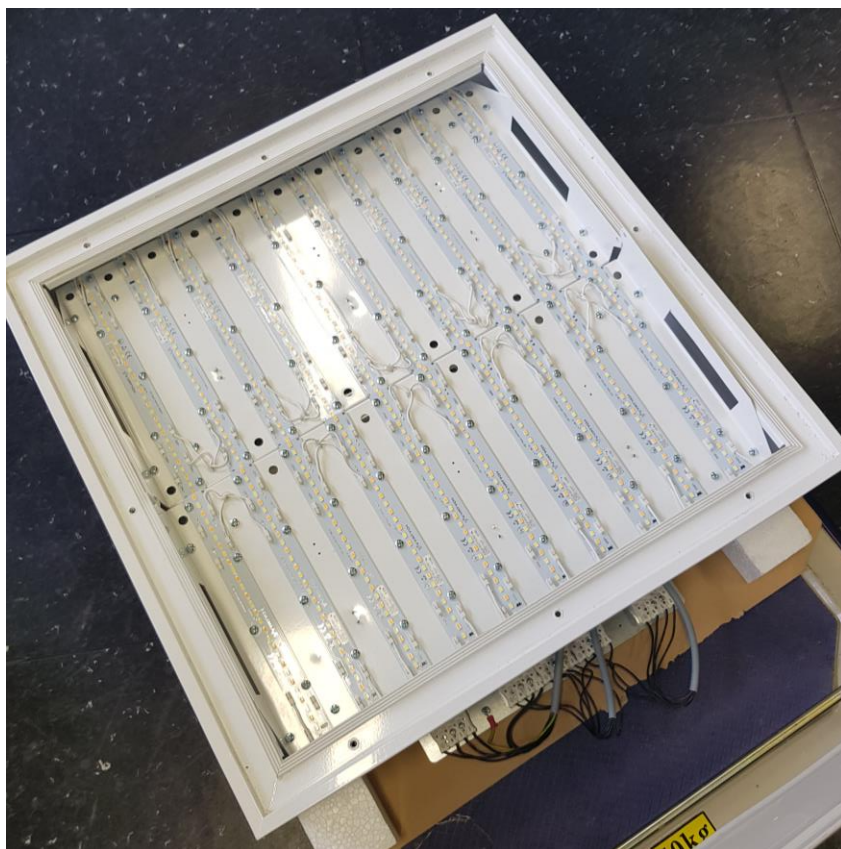
Příloha M – Grafické závislosti vypočítaných hodnot oslnění od neuniformních zdrojů oslnění na subjektivním hodnocení oslnění.

Příloha N – Výpočty UGR dle modifikovaného vztahu nUGR

Příloha CD

- Výpočty oslnění ze simulace.
- Eulumdata svítidel.
- Naměřené hodnoty z jasové analýzy.
- Data získaná ze subjektivního hodnocení oslnění.

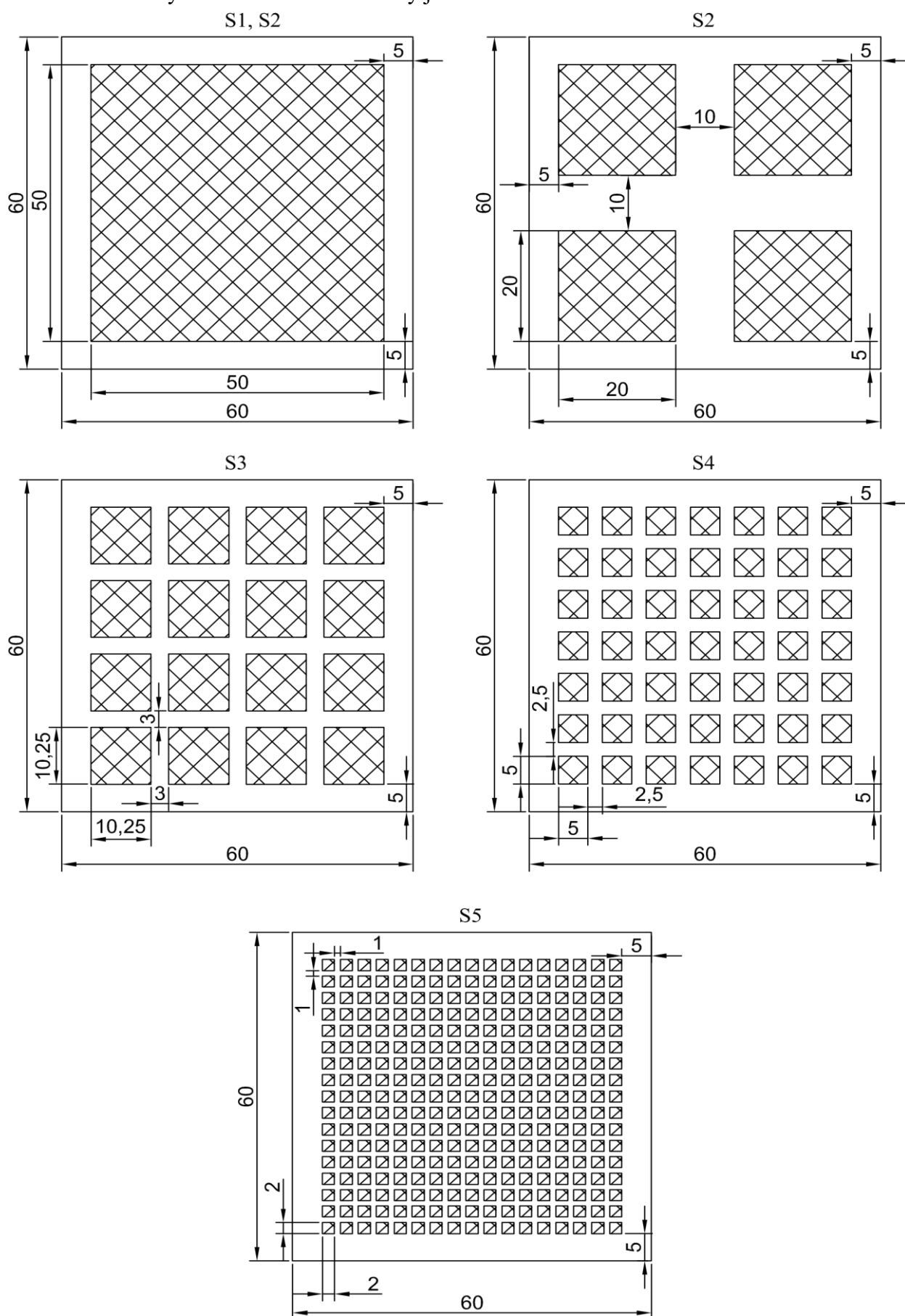
Příloha A1 – Snímek zachycující hustotu osazení LED svítidel.



Příloha A2 – Snímek zachycující předradná zařízení svítidel.

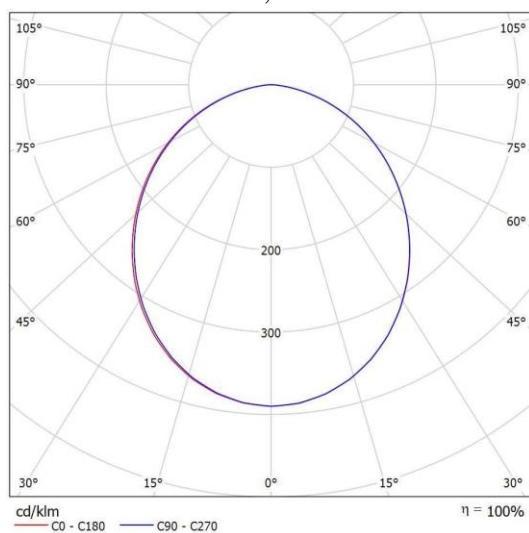


Příloha B – Masky svítidel. Rozměrové kóty jsou v cm.

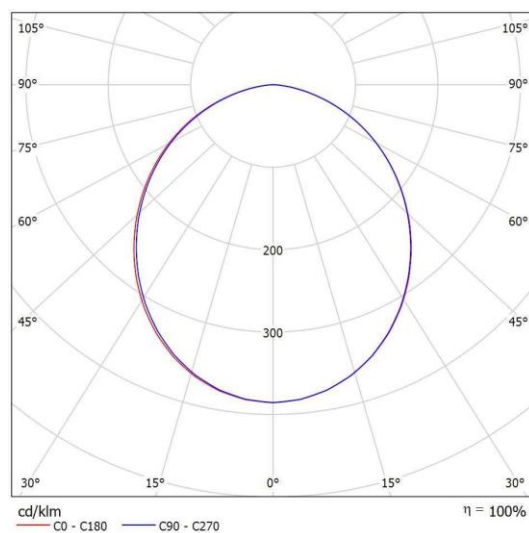


Příloha C – Křivky svítivosti.

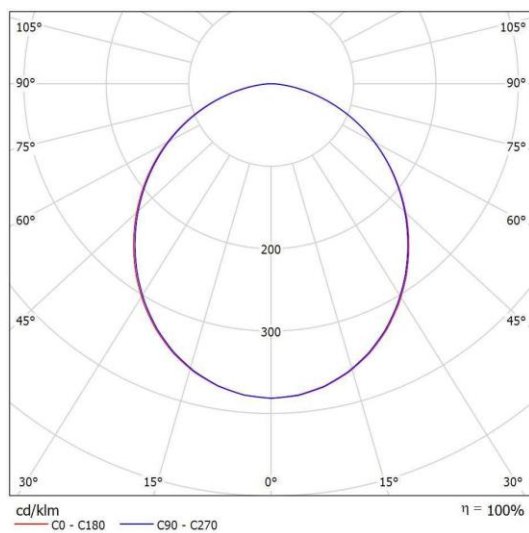
S1, S2



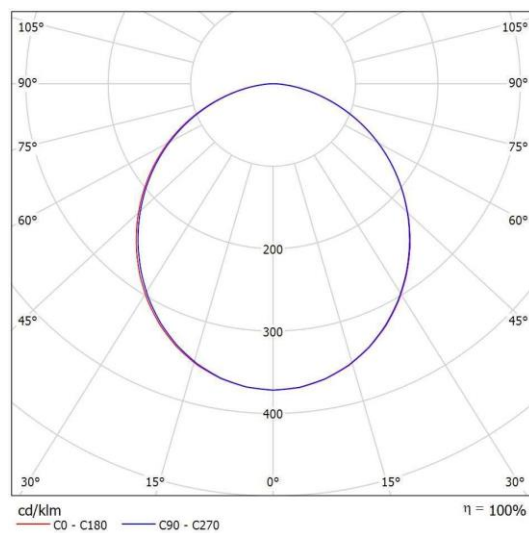
S2



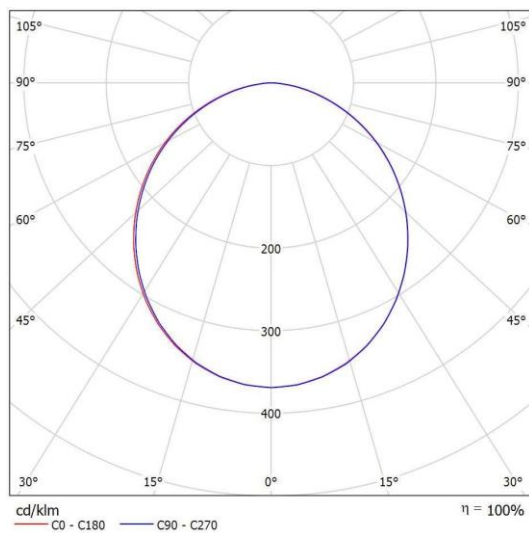
S3



S4



S5



Příloha D – Prostředí programu pro ovládání svítidel Designer.

BSP Invalid IP1 - BSP Invalid IP1_2.design - Designer

File Edit View Insert Tools Window Help

Scene Table

Router

Subnet

channel

Go To Scene

Scene

Scene 1.1

Scene 1.2

Scene 1.3

Scene 1.4

Scene 1.5

Scene 1.6

Scene 1.7

Scene 1.8

Scene 1.9

Scene 1.10

Scene 1.11

Scene 1.12

Scene 1.13

Scene 1.14

Scene 1.15

7000 K

3000 K

10.254.0.1.1.62

10.254.0.1.1.61

1 5

2 6

3 7

4 0

1 5

2 6

3 7

4 0

3000 K @ 61

7000 K @ 62

Button 121 @ 63

DALI Subnet @ 10.254.0.1.2

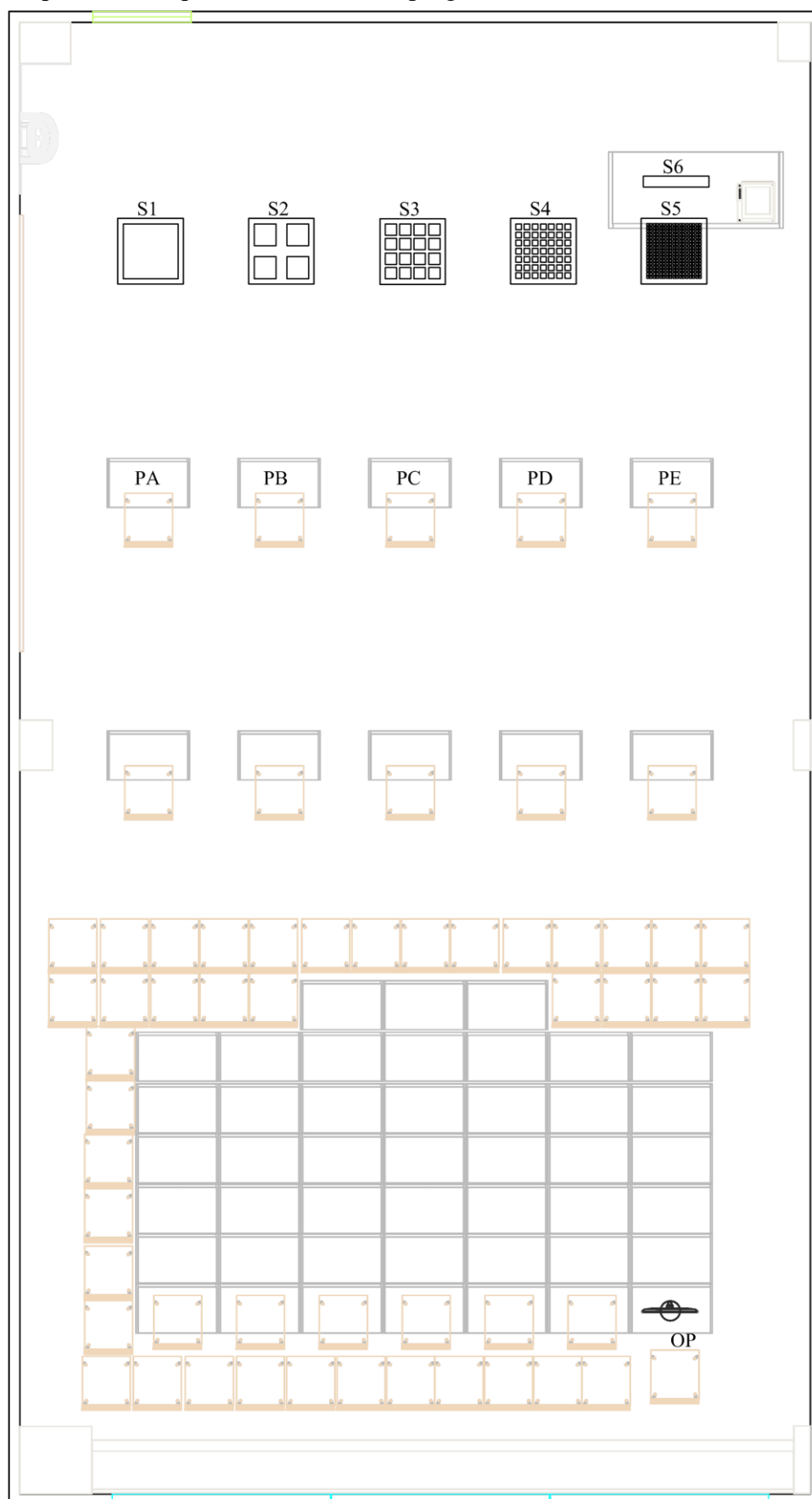
S-DIM Subnet @ 10.254.0.1.3

Routing Entries

ID	Description	Startup	Trigger	Action	Condition	State
1	Out Of Box Presence Detection Subnet 1		When Ungrouped Scene Block 1	PIR trigger calls Scene 1	Always	Unoccupied
2	Out Of Box Presence Detection Subnet 2		When Ungrouped Scene Block 2	PIR trigger calls Scene 1	Always	Unoccupied

Routers Intensity Routing Entries

Příloha E – Exportované uspořádání místnosti z programu Relux



Příloha F – Vypočítané hodnoty UGR ze simulace.

Tab. P - 1. Odečtené hodnoty UGR ze simulace experimentu pro zdroj oslnění S1.

	Horizontální pohled	Zvýšený pohled	Přímý pohled do svítidla
Pozice	UGR (-)	UGR (-)	UGR (-)
A	22,4	23,9	24,6
B	22,5	24,0	24,6
C	20,0	21,8	22,2
D	17,5	19,0	19,2
E	15,0	16,6	16,3

Tab. P - 2. Odečtené hodnoty UGR ze simulace experimentu pro zdroj oslnění S2.

	Horizontální pohled	Zvýšený pohled	Přímý pohled do svítidla
Pozice	UGR (-)	UGR (-)	UGR (-)
A	24,5	26,2	26,8
B	25,1	26,7	27,5
C	25,0	26,7	27,4
D	22,4	24,2	24,6
E	19,6	21,2	21,2

Tab. P - 3. Odečtené hodnoty UGR ze simulace experimentu pro zdroj oslnění S3.

	Horizontální pohled	Zvýšený pohled	Přímý pohled do svítidla
Pozice	UGR (-)	UGR (-)	UGR (-)
A	22,1	23,9	24,4
B	25,0	26,7	27,4
C	25,3	27,1	28,0
D	25,1	26,8	27,4
E	22,3	24,0	24,4

Tab. P - 4. Odečtené hodnoty UGR ze simulace experimentu pro zdroj oslnění S4.

	Horizontální pohled	Zvýšený pohled	Přímý pohled do svítidla
Pozice	UGR (-)	UGR (-)	UGR (-)
A	20,8	22,5	22,5
B	23,7	25,5	25,9
C	26,2	27,9	28,6
D	26,2	28,0	28,3
E	25,8	27,4	28,0

Tab. P - 4. Odečtené hodnoty UGR ze simulace experimentu pro zdroj oslnění S5

	Horizontální pohled	Zvýšený pohled	Přímý pohled do svítidla
Pozice	UGR (-)	UGR (-)	UGR (-)
A	18,5	20,1	19,8
B	20,8	22,4	22,5
C	23,3	25,2	25,4
D	25,7	27,2	27,8
E	25,5	27,0	27,7

Příloha G – Naměřené a vypočítané hodnoty z jasové analýzy.

Tab. P - 5. Naměřené a vypočítané hodnoty z jasové analýzy - zdroj oslnění S1, náhradní teplota chromatičnosti 7000 K, horizontální směr pohledu.

Pozice	L_p (cd·m ⁻²)	$L_{z_50_cs}$ (cd·m ⁻²)	$L_{z_50_pj}$ (cd·m ⁻²)	L_{z_FY} (cd·m ⁻²)	Ω_{50_cs} (sr)	Ω_{50_pj} (sr)	Ω_{FY} (sr)	p (-)	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)
A	39,1	9878,4	9959,8	11194,1	0,01619	0,01605	0,01749	4,189	22,080	22,108	23,219	22,137
B	36,0	9761,4	9780,3	10969,0	0,01265	0,01262	0,01406	4,559	20,838	20,845	22,017	20,852
C	28,3	9248,9	9271,9	7820,3	0,00751	0,00749	0,00832	5,756	17,866	17,874	17,057	17,883
D	23,9	8718,4	8743,5	7282,8	0,00422	0,00421	0,00487	6,474	15,222	15,232	14,470	15,242
E	21,1	7967,7	7995,5	7047,0	0,00238	0,00237	0,00273	7,454	12,057	12,068	11,691	12,081

Tab. P - 6. Naměřené a vypočítané hodnoty z jasové analýzy - zdroj oslnění S1, náhradní teplota chromatičnosti 7000 K, zvýšený směr pohledu.

Pozice	L_p (cd·m ⁻²)	$L_{z_50_cs}$ (cd·m ⁻²)	$L_{z_50_pj}$ (cd·m ⁻²)	L_{z_FY} (cd·m ⁻²)	Ω_{50_cs} (sr)	Ω_{50_pj} (sr)	Ω_{FY} (sr)	p (-)	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)
A	40,382	9878,415	9959,804	10335,532	0,01619	0,01605	0,01790	1,822	27,753	27,780	28,417	27,810
B	36,938	9761,414	9780,272	9489,889	0,01265	0,01262	0,01425	2,017	26,418	26,424	26,637	26,431
C	29,458	9248,929	9271,894	8499,617	0,00751	0,00749	0,00846	2,917	22,451	22,459	22,279	22,468
D	25,115	8718,418	8743,478	8535,267	0,00422	0,00421	0,00492	3,680	18,981	18,990	19,369	19,001
E	22,134	7967,729	7995,525	6597,209	0,00238	0,00237	0,00280	4,280	15,747	15,758	15,005	15,771

Tab. P - 7. Naměřené a vypočítané hodnoty z jasové analýzy - zdroj oslnění S1, náhradní teplota chromatičnosti 7000 K, pohled přímo do zdroje oslnění.

Pozice	L_p (cd·m ⁻²)	$L_{z_50_cs}$ (cd·m ⁻²)	$L_{z_50_pj}$ (cd·m ⁻²)	L_{z_FY} (cd·m ⁻²)	Ω_{50_cs} (sr)	Ω_{50_pj} (sr)	Ω_{FY} (sr)	p (-)	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)
A	39,008	9878,415	9959,804	9340,500	0,01619	0,01605	0,01826	1,000	32,042	32,070	32,071	32,099
B	35,729	9761,414	9780,272	9056,948	0,01265	0,01262	0,01448	1,000	31,407	31,414	31,358	31,421
C	28,990	9248,929	9271,894	7788,321	0,00751	0,00749	0,00877	1,000	29,946	29,955	29,291	29,964
D	23,807	8718,418	8743,478	6410,645	0,00422	0,00421	0,00533	1,000	28,219	28,229	26,894	28,239
E	19,584	7967,729	7995,525	5975,698	0,00238	0,00237	0,00314	1,000	26,276	26,287	25,246	26,300

Tab. P - 8. Naměřené a vypočítané hodnoty z jasové analýzy - zdroj oslnění SI, náhradní teplota chromatičnosti 2900 K, horizontální směr pohledu.

Pozice	L_p (cd·m ⁻²)	$L_{z_50_cs}$ (cd·m ⁻²)	$L_{z_50_pj}$ (cd·m ⁻²)	L_{z_FY} (cd·m ⁻²)	Ω_{50_cs} (sr)	Ω_{50_pj} (sr)	Ω_{FY} (sr)	p (-)	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)
A	42,073	11146,896	11254,511	9356,220	0,01626	0,01610	0,01752	4,189	22,681	22,713	21,724	22,748
B	37,748	10294,827	10315,205	8798,573	0,01275	0,01273	0,01393	4,547	21,092	21,098	20,307	21,105
C	29,685	9699,149	9702,462	8238,057	0,00747	0,00747	0,00835	5,766	18,005	18,006	17,257	18,007
D	25,151	9126,441	9183,070	7864,734	0,00420	0,00416	0,00484	6,775	15,037	15,042	14,494	15,080
E	21,966	8347,037	8371,200	5813,166	0,00237	0,00236	0,00274	7,454	12,234	12,243	10,220	12,254

Tab. P - 9. Naměřené a vypočítané hodnoty z jasové analýzy - zdroj oslnění SI, náhradní teplota chromatičnosti 2900 K, zvýšený směr pohledu.

Pozice	L_p (cd·m ⁻²)	$L_{z_50_cs}$ (cd·m ⁻²)	$L_{z_50_pj}$ (cd·m ⁻²)	L_{z_FY} (cd·m ⁻²)	Ω_{50_cs} (sr)	Ω_{50_pj} (sr)	Ω_{FY} (sr)	p (-)	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)
A	42,142	11146,896	11254,511	8341,282	0,01626	0,01610	0,01783	1,822	28,459	28,492	26,766	28,526
B	38,606	10294,827	10315,205	9074,039	0,01275	0,01273	0,01415	2,017	26,663	26,670	26,148	26,677
C	30,921	9699,149	9702,462	8462,277	0,00747	0,00747	0,00845	2,917	22,597	22,598	22,075	22,599
D	26,263	9126,441	9183,070	7726,649	0,00420	0,00416	0,00492	3,680	19,128	19,134	18,522	19,171
E	23,040	8347,037	8371,200	6083,690	0,00237	0,00236	0,00273	4,280	15,923	15,932	14,220	15,943

Tab. P - 10. Naměřené a vypočítané hodnoty z jasové analýzy - zdroj oslnění SI, náhradní teplota chromatičnosti 2900 K, pohled přímo do zdroje oslnění.

Pozice	L_p (cd·m ⁻²)	$L_{z_50_cs}$ (cd·m ⁻²)	$L_{z_50_pj}$ (cd·m ⁻²)	L_{z_FY} (cd·m ⁻²)	Ω_{50_cs} (sr)	Ω_{50_pj} (sr)	Ω_{FY} (sr)	p (-)	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)
A	40,537	11146,896	11254,511	8352,433	0,01626	0,01610	0,01813	1,000	32,764	32,796	31,137	32,830
B	37,169	10294,827	10315,205	8049,847	0,01275	0,01273	0,01453	1,000	31,669	31,676	30,412	31,683
C	30,124	9699,149	9702,462	7022,105	0,00747	0,00747	0,00895	1,000	30,128	30,129	28,510	30,130
D	24,769	9126,441	9183,070	6259,018	0,00420	0,00416	0,00540	1,000	28,385	28,390	26,637	28,428
E	20,332	8347,037	8371,200	4815,743	0,00237	0,00236	0,00309	1,000	26,461	26,470	23,561	26,481

Tab. P - 11. Naměřené a vypočítané hodnoty z jasové analýzy - zdroj oslnění S2, náhradní teplota chromatičnosti 7000 K, horizontální směr pohledu.

Pozice	L_p (cd·m ⁻²)	$L_{z_50_cs}$ (cd·m ⁻²)	$L_{z_50_pj}$ (cd·m ⁻²)	L_{z_FY} (cd·m ⁻²)	Ω_{50_cs} (sr)	Ω_{50_pj} (sr)	Ω_{FY} (sr)	p (-)	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)
A	35,843	10045,885	15415,034	10995,467	0,01282	0,00831	0,01054	3,963	22,076	23,545	22,021	25,051
B	35,739	11459,584	17566,475	13085,610	0,01592	0,01033	0,01283	4,604	22,710	24,175	22,883	25,678
C	33,224	9873,038	15209,567	11537,915	0,01282	0,00828	0,01022	4,540	21,275	22,757	21,571	24,278
D	27,658	9422,044	14494,934	9421,411	0,00785	0,00507	0,00664	5,430	18,636	20,111	18,056	21,629
E	24,011	8659,893	13191,789	9059,274	0,00423	0,00276	0,00378	6,474	15,176	16,616	15,093	18,101

Tab. P - 12. Naměřené a vypočítané hodnoty z jasové analýzy - zdroj oslnění S2, náhradní teplota chromatičnosti 7000 K, zvýšený směr pohledu.

Pozice	L_p (cd·m ⁻²)	$L_{z_50_cs}$ (cd·m ⁻²)	$L_{z_50_pj}$ (cd·m ⁻²)	L_{z_FY} (cd·m ⁻²)	Ω_{50_cs} (sr)	Ω_{50_pj} (sr)	Ω_{FY} (sr)	p (-)	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)
A	36,297	10045,885	15415,034	10373,339	0,01282	0,00831	0,01090	1,925	27,049	28,518	26,708	30,024
B	36,504	11459,584	17566,475	10183,062	0,01592	0,01033	0,01302	1,834	29,030	30,495	27,511	31,998
C	33,796	9873,038	15209,567	10189,568	0,01282	0,00828	0,01075	1,996	26,925	28,407	26,532	29,927
D	28,669	9422,044	14494,934	11362,977	0,00785	0,00507	0,00689	2,758	23,220	24,694	24,072	26,213
E	25,139	8659,893	13191,789	9106,656	0,00423	0,00276	0,00385	3,463	19,363	20,802	19,386	22,288

Tab. P - 13. Naměřené a vypočítané hodnoty z jasové analýzy - zdroj oslnění S2, náhradní teplota chromatičnosti 7000 K, pohled přímo do zdroje oslnění.

Pozice	L_p (cd·m ⁻²)	$L_{z_50_cs}$ (cd·m ⁻²)	$L_{z_50_pj}$ (cd·m ⁻²)	L_{z_FY} (cd·m ⁻²)	Ω_{50_cs} (sr)	Ω_{50_pj} (sr)	Ω_{FY} (sr)	p (-)	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)
A	34,096	10045,885	15415,034	9774,646	0,01282	0,00831	0,01200	1,000	31,818	33,287	31,396	34,793
B	35,214	11459,584	17566,475	11505,407	0,01592	0,01033	0,01405	1,000	33,371	34,836	32,966	36,339
C	32,480	9873,038	15209,567	8949,577	0,01282	0,00828	0,01156	1,000	31,866	33,348	30,825	34,869
D	27,107	9422,044	14494,934	8218,655	0,00785	0,00507	0,00776	1,000	30,463	31,938	29,476	33,456
E	22,356	8659,893	13191,789	7052,297	0,00423	0,00276	0,00472	1,000	28,403	29,842	27,353	31,327

Tab. P - 14. Naměřené a vypočítané hodnoty z jasové analýzy - zdroj oslnění S2, náhradní teplota chromatičnosti 2900 K, horizontální směr pohledu.

Pozice	L_p (cd·m ⁻²)	$L_{z_50_cs}$ (cd·m ⁻²)	$L_{z_50_pj}$ (cd·m ⁻²)	L_{z_FY} (cd·m ⁻²)	Ω_{50_cs} (sr)	Ω_{50_pj} (sr)	Ω_{FY} (sr)	p (-)	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)
A	37,710	10549,001	16335,045	11712,396	0,01291	0,00830	0,01061	3,957	22,274	23,775	22,318	25,312
B	37,691	10845,495	16687,039	11551,494	0,01585	0,01025	0,01286	4,605	22,127	23,607	21,837	25,121
C	34,878	10487,461	16269,185	11402,790	0,01288	0,00826	0,01008	4,552	21,523	23,031	21,252	24,574
D	29,050	10083,209	15375,814	10237,567	0,00780	0,00504	0,00657	5,430	18,915	20,332	18,424	21,846
E	25,176	9249,226	14034,194	8746,007	0,00424	0,00278	0,00371	6,442	15,509	16,938	14,655	18,406

Tab. P - 15. Naměřené a vypočítané hodnoty z jasové analýzy - zdroj oslnění S2, náhradní teplota chromatičnosti 2900 K, zvýšený směr pohledu.

Pozice	L_p (cd·m ⁻²)	$L_{z_50_cs}$ (cd·m ⁻²)	$L_{z_50_pj}$ (cd·m ⁻²)	L_{z_FY} (cd·m ⁻²)	Ω_{50_cs} (sr)	Ω_{50_pj} (sr)	Ω_{FY} (sr)	p (-)	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)
A	38,074	10549,001	16335,045	10742,822	0,01291	0,00830	0,01068	1,925	27,246	28,748	26,713	30,285
B	38,405	10845,495	16687,039	11139,524	0,01585	0,01025	0,01312	1,834	28,457	29,937	27,985	31,452
C	35,442	10487,461	16269,185	10906,214	0,01288	0,00826	0,01064	1,999	27,184	28,692	26,790	30,235
D	30,013	10083,209	15375,814	10250,411	0,00780	0,00504	0,00671	2,758	23,509	24,927	23,103	26,441
E	26,360	9249,226	14034,194	9371,592	0,00424	0,00278	0,00379	3,463	19,661	21,090	19,364	22,558

Tab. P - 16. Naměřené a vypočítané hodnoty z jasové analýzy - zdroj oslnění S2, náhradní teplota chromatičnosti 2900 K, pohled přímo do zdroje oslnění.

Pozice	L_p (cd·m ⁻²)	$L_{z_50_cs}$ (cd·m ⁻²)	$L_{z_50_pj}$ (cd·m ⁻²)	L_{z_FY} (cd·m ⁻²)	Ω_{50_cs} (sr)	Ω_{50_pj} (sr)	Ω_{FY} (sr)	p (-)	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)
A	35,650	10549,001	16335,045	9881,533	0,01291	0,00830	0,01193	1,000	32,026	33,528	31,296	35,065
B	36,918	10845,495	16687,039	10240,000	0,01585	0,01025	0,01385	1,000	32,811	34,291	31,942	35,805
C	34,043	10487,461	16269,185	10216,372	0,01288	0,00826	0,01171	1,000	32,137	33,645	31,624	35,189
D	28,387	10083,209	15375,814	8348,357	0,00780	0,00504	0,00764	1,000	30,751	32,169	29,367	33,683
E	23,447	9249,226	14034,194	6771,134	0,00424	0,00278	0,00466	1,000	28,700	30,129	26,860	31,597

Tab. P - 17. Naměřené a vypočítané hodnoty z jasové analýzy - zdroj oslnění S3, náhradní teplota chromatičnosti 7000 K, horizontální směr pohledu.

Pozice	L_p (cd·m ⁻²)	$L_{z_50_cs}$ (cd·m ⁻²)	$L_{z_50_pj}$ (cd·m ⁻²)	L_{z_FY} (cd·m ⁻²)	Ω_{50_cs} (sr)	Ω_{50_pj} (sr)	Ω_{FY} (sr)	p (-)	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)
A	28,465	10009,332	14127,896	8794,747	0,00802	0,00564	0,00844	4,957	19,667	20,836	18,943	22,062
B	32,181	9933,713	14289,394	8515,538	0,01286	0,00887	0,01325	4,159	22,046	23,281	21,081	24,572
C	34,625	10123,380	14256,587	9743,341	0,01641	0,01157	0,01575	4,526	22,183	23,348	21,774	24,562
D	33,733	10048,424	14368,572	10514,817	0,01338	0,00928	0,01371	4,405	21,700	22,915	22,100	24,185
E	29,297	9380,143	13438,381	8984,519	0,00785	0,00543	0,00838	5,208	18,694	19,913	18,624	21,192

Tab. P - 18. Naměřené a vypočítané hodnoty z jasové analýzy - zdroj oslnění S3, náhradní teplota chromatičnosti 7000 K, zvýšený směr pohledu.

Pozice	L_p (cd·m ⁻²)	$L_{z_50_cs}$ (cd·m ⁻²)	$L_{z_50_pj}$ (cd·m ⁻²)	L_{z_FY} (cd·m ⁻²)	Ω_{50_cs} (sr)	Ω_{50_pj} (sr)	Ω_{FY} (sr)	p (-)	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)
A	29,261	10009,332	14127,896	8129,039	0,00802	0,00564	0,00855	2,686	23,828	24,997	22,603	26,222
B	32,994	9933,713	14289,394	8216,029	0,01286	0,00887	0,01361	1,880	27,477	28,712	26,356	30,003
C	34,960	10123,380	14256,587	7443,084	0,01641	0,01157	0,01775	1,773	28,661	29,826	26,795	31,040
D	34,347	10048,424	14368,572	8304,651	0,01338	0,00928	0,01376	1,937	27,348	28,564	26,121	29,833
E	30,317	9380,143	13438,381	8835,218	0,00785	0,00543	0,00843	2,608	23,380	24,600	23,212	25,879

Tab. P - 19. Naměřené a vypočítané hodnoty z jasové analýzy - zdroj oslnění S3, náhradní teplota chromatičnosti 7000 K, pohled přímo do zdroje oslnění.

Pozice	L_p (cd·m ⁻²)	$L_{z_50_cs}$ (cd·m ⁻²)	$L_{z_50_pj}$ (cd·m ⁻²)	L_{z_FY} (cd·m ⁻²)	Ω_{50_cs} (sr)	Ω_{50_pj} (sr)	Ω_{FY} (sr)	p (-)	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)
A	27,745	10009,332	14127,896	8120,998	0,00802	0,00564	0,00967	1,000	30,879	32,048	30,074	33,274
B	31,787	9933,713	14289,394	7912,262	0,01286	0,00887	0,01458	1,000	31,992	33,228	30,849	34,518
C	33,706	10123,380	14256,587	7437,036	0,01641	0,01157	0,01750	1,000	32,769	33,933	30,848	35,148
D	32,244	10048,424	14368,572	9858,231	0,01338	0,00928	0,01470	1,000	32,160	33,376	32,355	34,645
E	26,929	9380,143	13438,381	7516,643	0,00785	0,00543	0,00872	1,000	30,454	31,673	29,280	32,952

Tab. P - 20. Naměřené a vypočítané hodnoty z jasové analýzy - zdroj oslnění S3, náhradní teplota chromatičnosti 2900 K, horizontální směr pohledu.

Pozice	L_p ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$)	$L_{z_50_cs}$ ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$)	$L_{z_50_pj}$ ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$)	L_{z_FY} ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$)	Ω_{50_cs} (sr)	Ω_{50_pj} (sr)	Ω_{FY} (sr)	p (-)	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)
A	29,628	10730,820	15041,963	9058,538	0,00785	0,00556	0,00844	4,957	19,937	21,087	19,009	22,284
B	33,447	10660,720	15194,802	8890,245	0,01259	0,00878	0,01325	4,162	22,325	23,534	21,241	24,787
C	35,951	10786,623	15531,151	9473,661	0,01629	0,01124	0,01563	4,526	22,467	23,711	21,421	25,000
D	35,060	10674,463	15167,394	9958,020	0,01324	0,00926	0,01323	4,405	21,951	23,149	21,466	24,392
E	30,419	9964,546	14185,488	7904,620	0,00785	0,00543	0,00831	5,208	18,984	20,159	17,572	21,438

Tab. P - 21. Naměřené a vypočítané hodnoty z jasové analýzy - zdroj oslnění S3, náhradní teplota chromatičnosti 2900 K, zvýšený směr pohledu.

Pozice	L_p ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$)	$L_{z_50_cs}$ ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$)	$L_{z_50_pj}$ ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$)	L_{z_FY} ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$)	Ω_{50_cs} (sr)	Ω_{50_pj} (sr)	Ω_{FY} (sr)	p (-)	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)
A	30,510	10730,820	15041,963	7791,414	0,00785	0,00556	0,00850	2,686	24,092	25,242	22,144	26,439
B	34,325	10660,720	15194,802	8992,596	0,01259	0,00878	0,01346	1,880	27,758	28,966	26,807	30,220
C	36,458	10786,623	15531,151	10136,207	0,01629	0,01124	0,01615	1,774	28,927	30,170	28,464	31,460
D	35,751	10674,463	15167,394	9314,596	0,01324	0,00926	0,01363	1,937	27,594	28,792	26,748	30,035
E	31,484	9964,546	14185,488	8439,975	0,00785	0,00543	0,00836	2,608	23,669	24,844	22,737	26,123

Tab. P - 22. Naměřené a vypočítané hodnoty z jasové analýzy - zdroj oslnění S3, náhradní teplota chromatičnosti 2900 K, pohled přímo do zdroje oslnění.

Pozice	L_p ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$)	$L_{z_50_cs}$ ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$)	$L_{z_50_pj}$ ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$)	L_{z_FY} ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$)	Ω_{50_cs} (sr)	Ω_{50_pj} (sr)	Ω_{FY} (sr)	p (-)	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)
A	28,788	10730,820	15041,963	7157,221	0,00785	0,00556	0,00944	1,000	31,160	32,310	28,986	33,507
B	32,950	10660,720	15194,802	8806,039	0,01259	0,00878	0,01459	1,000	32,285	33,494	31,469	34,748
C	34,886	10786,623	15531,151	8582,361	0,01629	0,01124	0,01787	1,000	33,064	34,307	31,798	35,597
D	33,471	10674,463	15167,394	7753,619	0,01324	0,00926	0,01499	1,000	32,415	33,614	30,624	34,856
E	27,958	9964,546	14185,488	7074,919	0,00785	0,00543	0,00890	1,000	30,744	31,919	28,802	33,198

Tab. P - 23. Naměřené a vypočítané hodnoty z jasové analýzy - zdroj oslnění S4, náhradní teplota chromatičnosti 7000 K, horizontální směr pohledu.

Pozice	L_p (cd·m ⁻²)	$L_{z_50_cs}$ (cd·m ⁻²)	$L_{z_50_pj}$ (cd·m ⁻²)	L_{z_FY} (cd·m ⁻²)	Ω_{50_cs} (sr)	Ω_{50_pj} (sr)	Ω_{FY} (sr)	p (-)	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)
A	24,427	9297,981	15694,319	7308,981	0,00420	0,00245	0,00472	6,166	15,924	17,691	14,652	19,562
B	28,104	9922,126	17666,893	8038,585	0,00738	0,00409	0,00812	4,947	19,375	21,330	18,243	23,384
C	34,081	10459,170	17797,547	9429,670	0,01287	0,00748	0,01346	4,121	22,272	24,080	21,709	25,966
D	38,963	10768,255	18949,395	9658,145	0,01646	0,00925	0,01653	4,533	22,201	24,125	21,461	26,128
E	39,869	10548,126	18370,549	8941,685	0,01337	0,00759	0,01419	4,258	21,691	23,576	20,749	25,546

Tab. P - 24. Naměřené a vypočítané hodnoty z jasové analýzy - zdroj oslnění S4, náhradní teplota chromatičnosti 7000 K, zvýšený směr pohledu.

Pozice	L_p (cd·m ⁻²)	$L_{z_50_cs}$ (cd·m ⁻²)	$L_{z_50_pj}$ (cd·m ⁻²)	L_{z_FY} (cd·m ⁻²)	Ω_{50_cs} (sr)	Ω_{50_pj} (sr)	Ω_{FY} (sr)	p (-)	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)
A	25,345	9297,981	15694,319	7582,752	0,00420	0,00245	0,00480	3,543	19,646	21,413	18,688	23,284
B	29,234	9922,126	17666,893	8130,843	0,00738	0,00409	0,00823	2,535	23,883	25,838	22,879	27,891
C	34,915	10459,170	17797,547	8789,639	0,01287	0,00748	0,01370	1,834	27,813	29,620	26,822	31,507
D	39,502	10768,255	18949,395	8574,055	0,01646	0,00925	0,01741	1,812	28,524	30,448	27,135	32,451
E	40,570	10548,126	18370,549	8464,154	0,01337	0,00759	0,01433	1,858	27,394	29,279	26,104	31,249

Tab. P - 25. Naměřené a vypočítané hodnoty z jasové analýzy - zdroj oslnění S4, náhradní teplota chromatičnosti 7000 K, pohled přímo do zdroje oslnění.

Pozice	L_p (cd·m ⁻²)	$L_{z_50_cs}$ (cd·m ⁻²)	$L_{z_50_pj}$ (cd·m ⁻²)	L_{z_FY} (cd·m ⁻²)	Ω_{50_cs} (sr)	Ω_{50_pj} (sr)	Ω_{FY} (sr)	p (-)	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)
A	24,502	9297,981	15694,319	6668,455	0,00420	0,00245	0,00549	1,000	28,554	30,321	27,169	32,192
B	28,925	9922,126	17666,893	6648,621	0,00738	0,00409	0,00906	1,000	30,384	32,339	28,316	34,393
C	34,450	10459,170	17797,547	8392,606	0,01287	0,00748	0,01476	1,000	32,074	33,882	31,021	35,768
D	37,226	10768,255	18949,395	8135,478	0,01646	0,00925	0,01842	1,000	32,862	34,786	31,306	36,789
E	36,971	10548,126	18370,549	8862,764	0,01337	0,00759	0,01471	1,000	32,021	33,906	31,143	35,876

Tab. P - 26. Naměřené a vypočítané hodnoty z jasové analýzy - zdroj oslnění S4, náhradní teplota chromatičnosti 2900 K, horizontální směr pohledu.

Pozice	L_p (cd·m ⁻²)	$L_{z_50_cs}$ (cd·m ⁻²)	$L_{z_50_pj}$ (cd·m ⁻²)	L_{z_FY} (cd·m ⁻²)	Ω_{50_cs} (sr)	Ω_{50_pj} (sr)	Ω_{FY} (sr)	p (-)	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)
A	24,604	10093,279	16933,586	7194,338	0,00422	0,00248	0,00466	6,166	16,479	18,233	14,475	20,074
B	28,210	11392,283	20164,912	8159,900	0,00741	0,00414	0,00802	4,947	20,334	22,276	18,290	24,302
C	34,151	10682,146	19562,938	8763,914	0,01279	0,00691	0,01331	4,118	22,396	24,459	21,157	26,600
D	38,915	10885,319	19856,059	9693,837	0,01654	0,00897	0,01651	4,533	22,299	24,351	21,485	26,476
E	39,928	10680,072	19333,666	8927,507	0,01340	0,00732	0,01398	4,258	21,779	23,802	20,682	25,903

Tab. P - 27. Naměřené a vypočítané hodnoty z jasové analýzy - zdroj oslnění S4, náhradní teplota chromatičnosti 2900 K, zvýšený směr pohledu.

Pozice	L_p (cd·m ⁻²)	$L_{z_50_cs}$ (cd·m ⁻²)	$L_{z_50_pj}$ (cd·m ⁻²)	L_{z_FY} (cd·m ⁻²)	Ω_{50_cs} (sr)	Ω_{50_pj} (sr)	Ω_{FY} (sr)	p (-)	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)
A	25,324	10093,279	16933,586	6907,868	0,00422	0,00248	0,00476	3,543	20,229	21,983	18,016	23,824
B	29,378	11392,283	20164,912	8036,899	0,00741	0,00414	0,00819	2,535	24,837	26,780	22,764	28,805
C	34,960	10682,146	19562,938	8628,089	0,01279	0,00691	0,01385	1,834	27,935	29,998	26,726	32,139
D	39,565	10885,319	19856,059	9060,395	0,01654	0,00897	0,01751	1,812	28,612	30,664	27,534	32,789
E	40,621	10680,072	19333,666	8257,917	0,01340	0,00732	0,01424	1,858	27,483	29,506	25,907	31,606

Tab. P - 28. Naměřené a vypočítané hodnoty z jasové analýzy - zdroj oslnění S4, náhradní teplota chromatičnosti 2900 K, pohled přímo do zdroje oslnění.

Pozice	L_p (cd·m ⁻²)	$L_{z_50_cs}$ (cd·m ⁻²)	$L_{z_50_pj}$ (cd·m ⁻²)	L_{z_FY} (cd·m ⁻²)	Ω_{50_cs} (sr)	Ω_{50_pj} (sr)	Ω_{FY} (sr)	p (-)	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)
A	24,507	10093,279	16933,586	6222,418	0,00422	0,00248	0,00550	1,000	29,133	30,887	26,697	32,728
B	28,823	11392,283	20164,912	7038,161	0,00741	0,00414	0,00911	1,000	31,368	33,311	28,740	35,336
C	34,368	10682,146	19562,938	8062,196	0,01279	0,00691	0,01466	1,000	32,209	34,272	30,727	36,413
D	37,250	10885,319	19856,059	8555,280	0,01654	0,00897	0,01846	1,000	32,953	35,005	31,661	37,130
E	36,972	10680,072	19333,666	8304,350	0,01340	0,00732	0,01473	1,000	32,114	34,137	30,696	36,238

Tab. P - 29. Naměřené a vypočítané hodnoty z jasové analýzy - zdroj oslnění S5, náhradní teplota chromatičnosti 7000 K, horizontální směr pohledu.

Pozice	L_p (cd·m ⁻²)	$L_{z_50_cs}$ (cd·m ⁻²)	$L_{z_50_pj}$ (cd·m ⁻²)	L_{z_FY} (cd·m ⁻²)	Ω_{50_cs} (sr)	Ω_{50_pj} (sr)	Ω_{FY} (sr)	p (-)	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)
A	23,051	9454,369	11781,212	6678,135	0,00244	0,00194	0,00282	7,092	13,381	14,116	11,462	14,910
B	25,750	9307,572	12375,063	7133,876	0,00417	0,00310	0,00465	5,855	16,079	17,033	14,613	18,059
C	32,636	10014,446	13398,321	7915,801	0,00774	0,00573	0,00830	4,852	19,220	20,197	17,829	21,243
D	41,226	10741,364	14319,148	9047,192	0,01302	0,00968	0,01396	4,291	21,554	22,522	20,605	23,552
E	46,930	10934,651	13924,607	8533,842	0,01689	0,01317	0,01806	4,438	21,900	22,714	20,409	23,579

Tab. P - 30. Naměřené a vypočítané hodnoty z jasové analýzy - zdroj oslnění S5, náhradní teplota chromatičnosti 7000 K, zvýšený směr pohledu.

Pozice	L_p (cd·m ⁻²)	$L_{z_50_cs}$ (cd·m ⁻²)	$L_{z_50_pj}$ (cd·m ⁻²)	L_{z_FY} (cd·m ⁻²)	Ω_{50_cs} (sr)	Ω_{50_pj} (sr)	Ω_{FY} (sr)	p (-)	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)
A	23,536	9454,369	11781,212	6263,130	0,00244	0,00194	0,00286	4,369	16,675	17,410	14,362	18,204
B	27,114	9307,572	12375,063	7136,598	0,00417	0,00310	0,00473	3,274	19,940	20,893	18,533	21,919
C	33,690	10014,446	13398,321	7800,866	0,00774	0,00573	0,00844	2,449	23,862	24,839	22,428	25,884
D	42,130	10741,364	14319,148	8505,111	0,01302	0,00968	0,01421	1,966	26,902	27,870	25,586	28,900
E	48,190	10934,651	13924,607	9081,412	0,01689	0,01317	0,01824	1,717	28,405	29,219	27,382	30,084

Tab. P - 31. Naměřené a vypočítané hodnoty z jasové analýzy - zdroj oslnění S5, náhradní teplota chromatičnosti 7000 K, pohled přímo do zdroje oslnění.

Pozice	L_p (cd·m ⁻²)	$L_{z_50_cs}$ (cd·m ⁻²)	$L_{z_50_pj}$ (cd·m ⁻²)	L_{z_FY} (cd·m ⁻²)	Ω_{50_cs} (sr)	Ω_{50_pj} (sr)	Ω_{FY} (sr)	p (-)	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)
A	23,112	9454,369	11781,212	5792,116	0,00244	0,00194	0,00339	1,000	26,985	27,719	24,721	28,513
B	27,450	9307,572	12375,063	6338,302	0,00417	0,00310	0,00538	1,000	28,138	29,091	26,356	30,117
C	34,224	10014,446	13398,321	7559,920	0,00774	0,00573	0,00926	1,000	30,030	31,007	28,698	32,052
D	42,483	10741,364	14319,148	8347,332	0,01302	0,00968	0,01508	1,000	31,571	32,539	30,331	33,569
E	46,117	10934,651	13924,607	8979,202	0,01689	0,01317	0,01818	1,000	32,315	33,129	31,202	33,995

Tab. P - 32. Naměřené a vypočítané hodnoty z jasové analýzy - zdroj oslnění S5, náhradní teplota chromatičnosti 2900 K, horizontální směr pohledu.

Pozice	L_p (cd·m ⁻²)	$L_{z_50_cs}$ (cd·m ⁻²)	$L_{z_50_pj}$ (cd·m ⁻²)	L_{z_FY} (cd·m ⁻²)	Ω_{50_cs} (sr)	Ω_{50_pj} (sr)	Ω_{FY} (sr)	p (-)	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)
A	23,920	9454,369	11781,212	6751,198	0,00244	0,00194	0,00279	7,092	13,253	13,987	11,380	14,782
B	26,864	9307,572	12375,063	7397,866	0,00417	0,00310	0,00464	5,855	15,932	16,886	14,709	17,912
C	33,611	10014,446	13398,321	8362,765	0,00774	0,00573	0,00826	4,852	19,118	20,095	18,090	21,140
D	42,450	10741,364	14319,148	9080,612	0,01302	0,00968	0,01386	4,295	21,446	22,414	20,496	23,444
E	49,048	10934,651	13924,607	9167,228	0,01689	0,01317	0,01791	4,438	21,746	22,561	20,725	23,426

Tab. P - 33. Naměřené a vypočítané hodnoty z jasové analýzy - zdroj oslnění S5, náhradní teplota chromatičnosti 2900 K, zvýšený směr pohledu.

Pozice	L_p (cd·m ⁻²)	$L_{z_50_cs}$ (cd·m ⁻²)	$L_{z_50_pj}$ (cd·m ⁻²)	L_{z_FY} (cd·m ⁻²)	Ω_{50_cs} (sr)	Ω_{50_pj} (sr)	Ω_{FY} (sr)	p (-)	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)
A	24,674	9084,348	12186,962	6507,776	0,00248	0,00183	0,00289	4,381	16,263	17,246	14,481	18,305
B	28,215	9871,492	14008,813	7314,300	0,00413	0,00288	0,00476	3,280	20,162	21,339	18,572	22,594
C	34,710	10555,714	14885,550	8150,440	0,00768	0,00539	0,00845	2,444	24,110	25,268	22,646	26,498
D	43,464	11226,866	16999,863	8946,123	0,01303	0,00851	0,01408	1,966	27,105	28,508	25,796	29,988
E	49,857	11407,913	16061,676	9050,080	0,01687	0,01187	0,01827	1,716	28,580	29,735	27,249	30,957

Tab. P - 34. Naměřené a vypočítané hodnoty z jasové analýzy - zdroj oslnění S5, náhradní teplota chromatičnosti 2900 K, pohled přímo do zdroje oslnění.

Pozice	L_p (cd·m ⁻²)	$L_{z_50_cs}$ (cd·m ⁻²)	$L_{z_50_pj}$ (cd·m ⁻²)	L_{z_FY} (cd·m ⁻²)	Ω_{50_cs} (sr)	Ω_{50_pj} (sr)	Ω_{FY} (sr)	p (-)	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)
A	23,837	9084,348	12186,962	5832,254	0,00248	0,00183	0,00332	1,000	26,648	27,631	24,586	28,689
B	28,231	9871,492	14008,813	6607,486	0,00413	0,00288	0,00538	1,000	28,413	29,590	26,548	30,845
C	35,152	10555,714	14885,550	7473,231	0,00768	0,00539	0,00928	1,000	30,275	31,434	28,532	32,664
D	43,646	11226,866	16999,863	8426,295	0,01303	0,00851	0,01487	1,000	31,788	33,191	30,253	34,671
E	47,536	11407,913	16061,676	8588,422	0,01687	0,01187	0,01863	1,000	32,500	33,655	30,872	34,877

Příloha H – Dotazník pro subjektivní hodnocení rušivého oslnění – informace o pozorovateli.



Dotazník – Subjektivní hodnocení oslnění

Informace o pozorovateli

Jméno a příjmení: _____

Kontaktní email: _____

Věk: _____

Výška: _____

Přidělené ID: _____

Pohlaví:

Žena ☐ Muž ☐

Vlastní barva vlasů:

Světlé ☐ Hnědé ☐ Černé ☐ Zrzavé ☐

Barva očí:

Modrá ☐ Zelená ☐ Hnědá ☐ Šedá ☐

Typ pleti:

Světlá ☐ Tmavší ☐ Tmavá ☐

Vady oka:

Žádné ☐ Dalekozrakost ☐ Krátkozrakost ☐ Astigmatismus ☐

Jiné vady (popis): _____

Použitá korekce při výzkumu: Bez korekce ☐ Brýle ☐ Čočky ☐

Dioptrie: P - _____ L - _____

Znalosti v oblasti světelné techniky:

Neseznámený ☐ Seznámený ☐ Znalý ☐

Fyzická únava:

Bez únavy ☐ Střední únava ☐ Velká únava ☐

Informace budou využity výhradně na vědecké účely. Citlivé informace nebudou dále předány třetím stranám.



Psychická únava:

Bez únavy ☐ Střední únava ☐ Velká únava ☐

Pocit tepla:

Teplo ☐ Příjemná teplota ☐ Zima ☐

Pocit sytosti:

Sytý ☐ Hladový ☐

Aktuální onemocnění (rýma, chřipka, nevolnost, alergie ...): _____

Chronotyp:

Skřivan ☐ Nevýhraněný ☐ Sova ☐*Skřivan – ranní ptáče, neponocuje;*
Sova – raději ponocuje, vstává později;

Oblíbená barva:

Černá ☐ Fialová ☐ Modrá ☐ Zelená ☐ Žlutá ☐ Oranžová ☐ Červená ☐ Bílá ☐

Preferované tvary:

Oblé ☐ Hranaté ☐

Návykové látky, čas konzumace (za posledních 24 hodin): _____

Čas ulehnutí: _____

Čas vstávání: _____

Informace budou využity výhradně na vědecké účely. Citlivé informace nebudou dále předány třetím stranám.

Příloha I – Dotazník pro subjektivní hodnocení rušivého oslnění – hodnocení oslnění pozice A.

Subjektivní hodnocení oslnění

ID:
Datum:
Čas:

Pozice A – Vodorovný směr pohledu – Studená barva

Pocit oslnění	Svítidlo 1.	Svítidlo 2.	Svítidlo 3.	Svítidlo 4.	Svítidlo 5.
1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Pozice A – Vodorovný směr pohledu – Teplá barva

Pocit oslnění	Svítidlo 1.	Svítidlo 2.	Svítidlo 3.	Svítidlo 4.	Svítidlo 5.
1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Pozice A – Zvýšený směr pohledu – Studená barva

Pocit oslnění	Svítidlo 1.	Svítidlo 2.	Svítidlo 3.	Svítidlo 4.	Svítidlo 5.
1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Pozice A – Zvýšený směr pohledu – Teplá barva

Pocit oslnění	Svítidlo 1.	Svítidlo 2.	Svítidlo 3.	Svítidlo 4.	Svítidlo 5.
1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Informace budou sloužit výhradně pro vědecké účely

Subjektivní hodnocení oslnění

Pozice A – Přímý pohled do svítidla – Studená barva

Pocit oslnění	Svítidlo 1.	Svítidlo 2.	Svítidlo 3.	Svítidlo 4.	Svítidlo 5.
1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Pozice A – Přímý pohled do svítidla – Teplá barva

Pocit oslnění	Svítidlo 1.	Svítidlo 2.	Svítidlo 3.	Svítidlo 4.	Svítidlo 5.
1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Informace budou sloužit výhradně pro vědecké účely

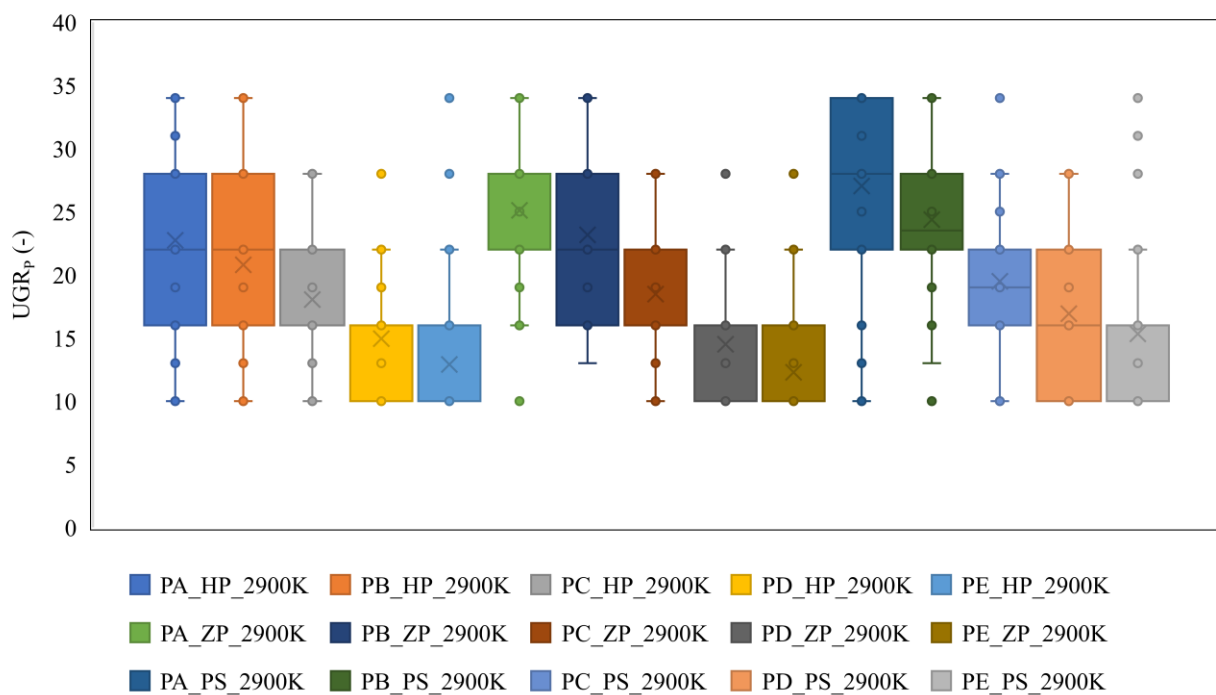
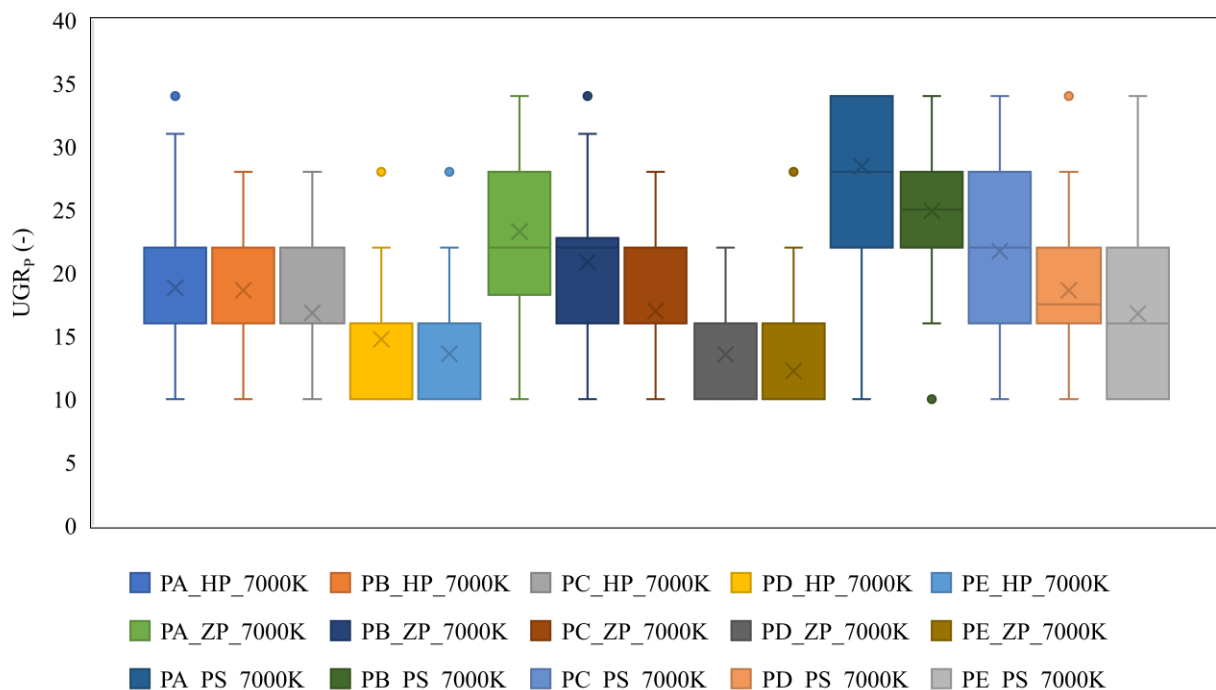
Příloha J – Uspořádání pracoviště pro subjektivní hodnocení oslnění.



Příloha K1 – Grafické znázornění subjektivního hodnocení oslnění od uniformního zdroje oslnění S1.

Informace v legendě grafu udávají o jakou situaci hodnocení se jedná.

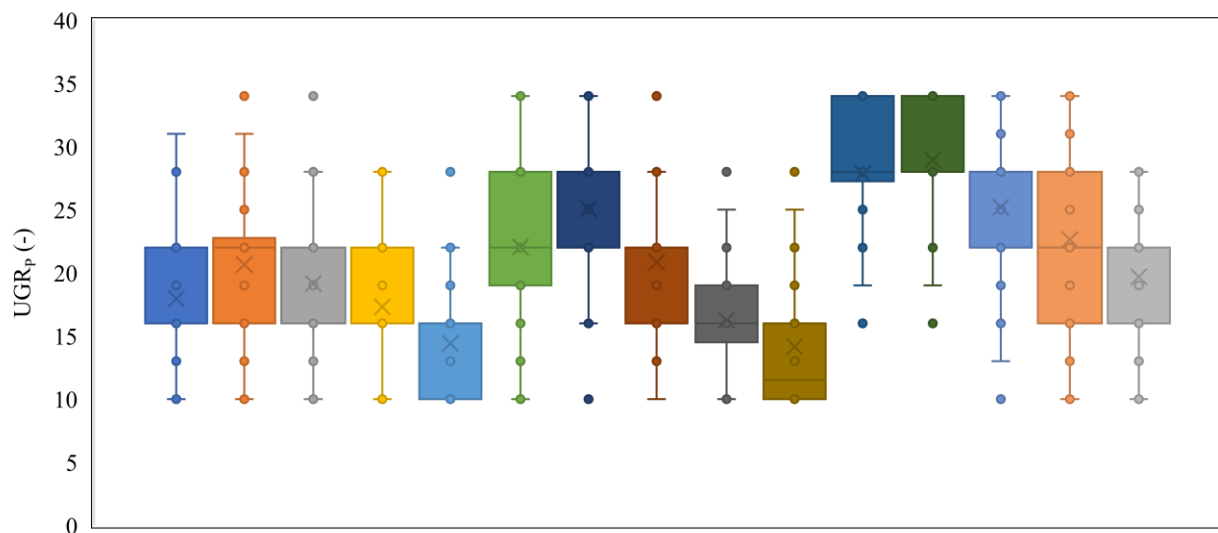
Pozice pozorovatele_Směr pohledu_Náhradní teplota chromatičnosti zdroje oslnění



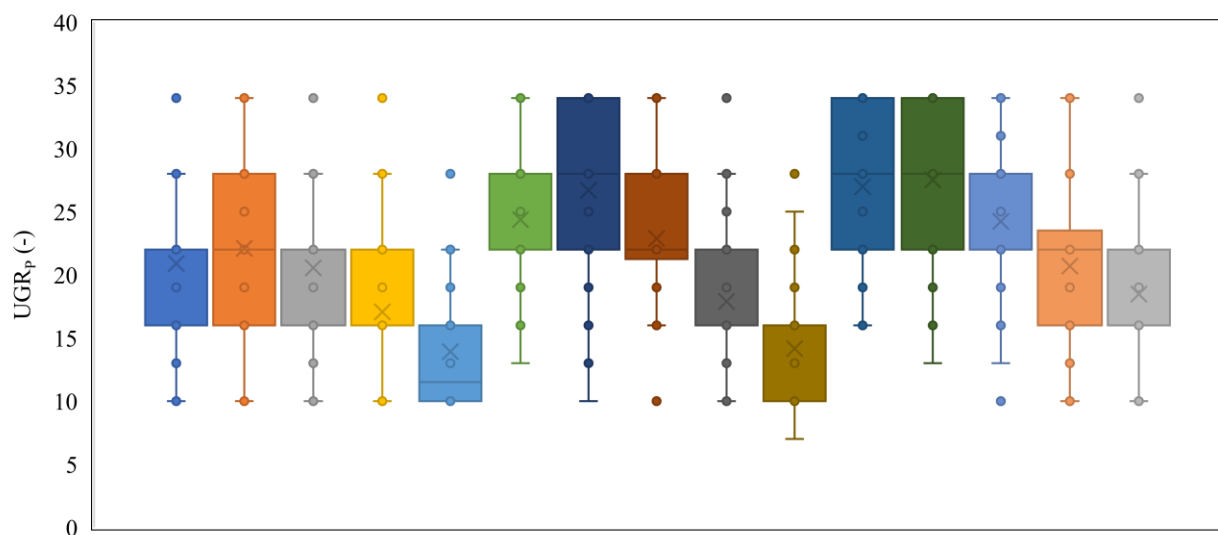
Příloha K2 – Grafické znázornění subjektivního hodnocení oslnění od neuniformní zdroje oslnění S2.

P Informace v legendě grafu udávají o jakou situaci hodnocení se jedná.

Pozice pozorovatele_Směr pohledu_Náhradní teplota chromatičnosti zdroje oslnění



PA_HP_7000K PB_HP_7000K PC_HP_7000K PD_HP_7000K PE_HP_7000K
 PA_ZP_7000K PB_ZP_7000K PC_ZP_7000K PD_ZP_7000K PE_ZP_7000K
 PA_PS_7000K PB_PS_7000K PC_PS_7000K PD_PS_7000K PE_PS_7000K

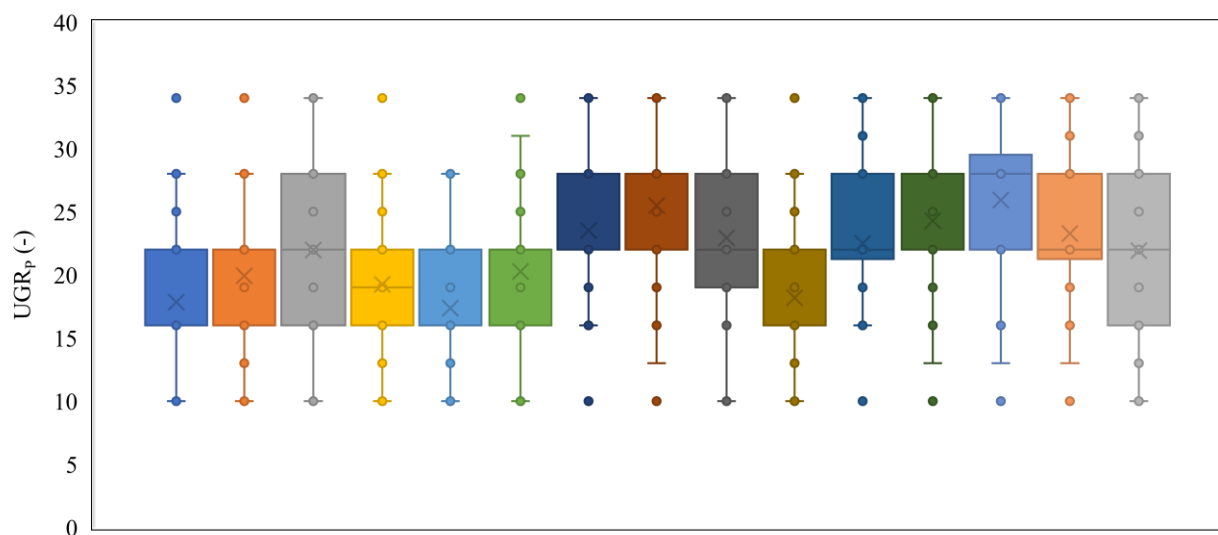
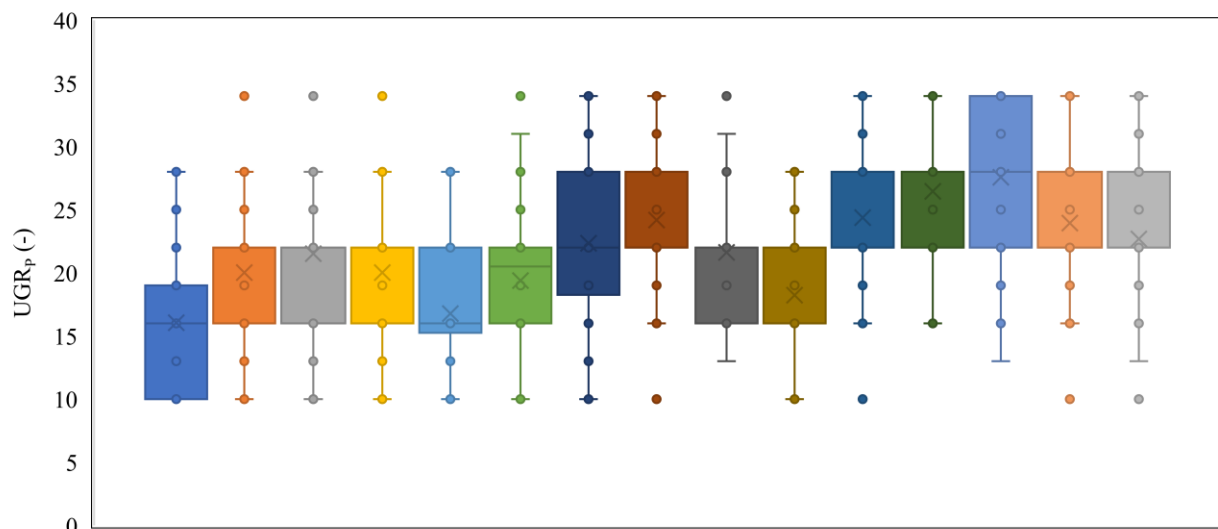


PA_HP_2900K PB_HP_2900K PC_HP_2900K PD_HP_2900K PE_HP_2900K
 PA_ZP_2900K PB_ZP_2900K PC_ZP_2900K PD_ZP_2900K PE_ZP_2900K
 PA_PS_2900K PB_PS_2900K PC_PS_2900K PD_PS_2900K PE_PS_2900K

Příloha K3 – Grafické znázornění subjektivního hodnocení oslnění od neuniformní zdroje oslnění S3.

Informace v legendě grafu udávají o jakou situaci hodnocení se jedná.

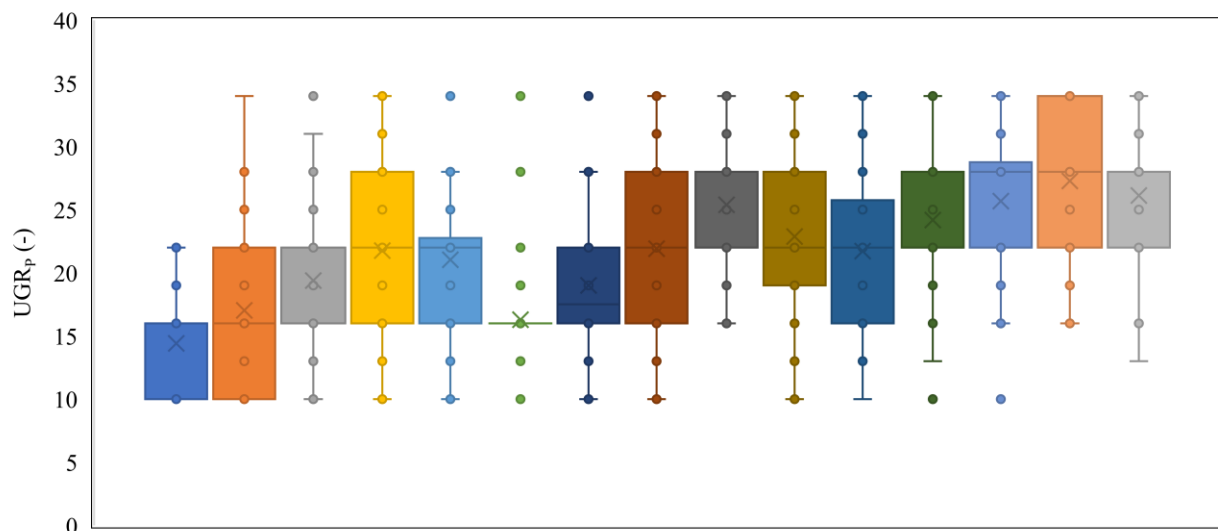
Pozice pozorovatele_Směr pohledu_Náhradní teplota chromatičnosti zdroje oslnění



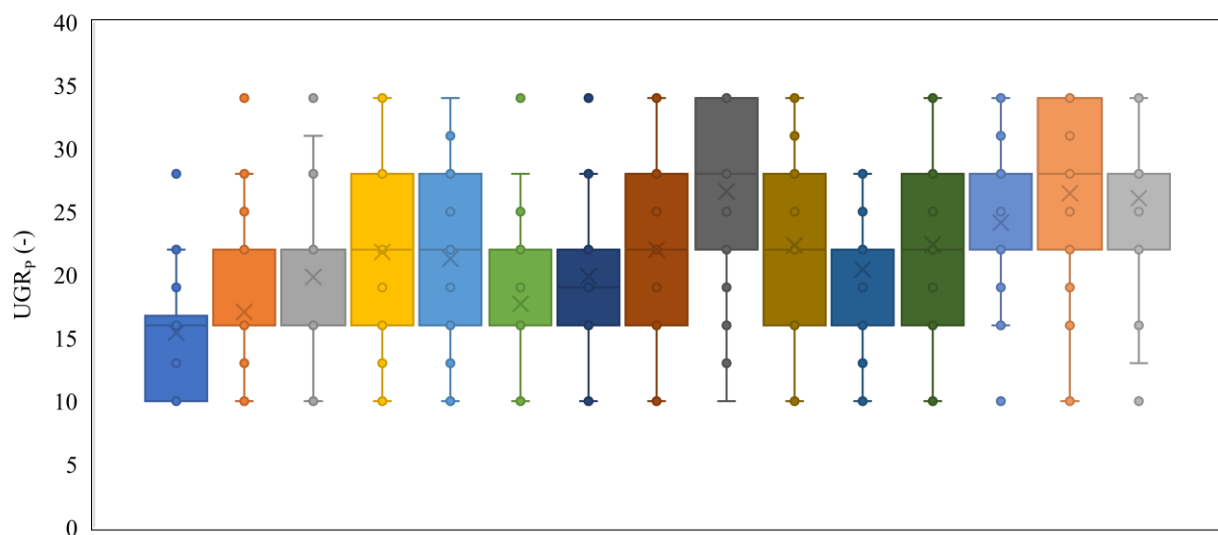
Příloha K4 – Grafické znázornění subjektivního hodnocení oslnění od neuniformní zdroje oslnění S4.

Informace v legendě grafu udávají o jakou situaci hodnocení se jedná.

Pozice pozorovatele_Směr pohledu_Náhradní teplota chromatičnosti zdroje oslnění



PA_HP_7000K PB_HP_7000K PC_HP_7000K PD_HP_7000K PE_HP_7000K
 PA_ZP_7000K PB_ZP_7000K PC_ZP_7000K PD_ZP_7000K PE_ZP_7000K
 PA_PS_7000K PB_PS_7000K PC_PS_7000K PD_PS_7000K PE_PS_7000K

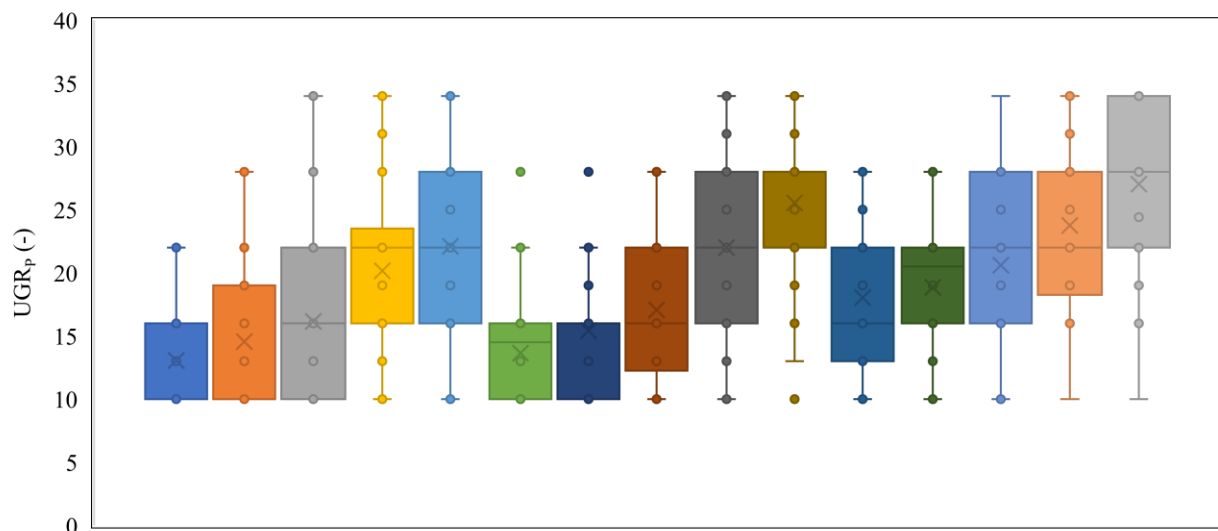


PA_HP_2900K PB_HP_2900K PC_HP_2900K PD_HP_2900K PE_HP_2900K
 PA_ZP_2900K PB_ZP_2900K PC_ZP_2900K PD_ZP_2900K PE_ZP_2900K
 PA_PS_2900K PB_PS_2900K PC_PS_2900K PD_PS_2900K PE_PS_2900K

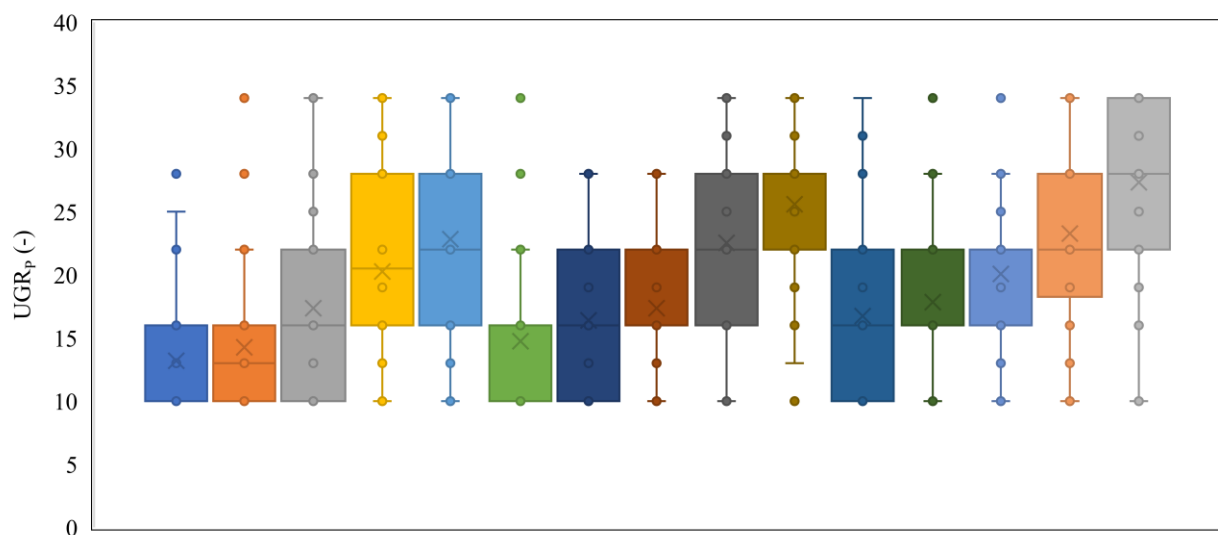
Příloha K5 – Grafické znázornění subjektivního hodnocení oslnění od neuniformní zdroje oslnění S5.

Informace v legendě grafu udávají o jakou situaci hodnocení se jedná.

Pozice pozorovatele_Směr pohledu_Náhradní teplota chromatičnosti zdroje oslnění



PA_HP_7000K PB_HP_7000K PC_HP_7000K PD_HP_7000K PE_HP_7000K
 PA_ZP_7000K PB_ZP_7000K PC_ZP_7000K PD_ZP_7000K PE_ZP_7000K
 PA_PS_7000K PB_PS_7000K PC_PS_7000K PD_PS_7000K PE_PS_7000K



PA_HP_2900K PB_HP_2900K PC_HP_2900K PD_HP_2900K PE_HP_2900K
 PA_ZP_2900K PB_ZP_2900K PC_ZP_2900K PD_ZP_2900K PE_ZP_2900K
 PA_PS_2900K PB_PS_2900K PC_PS_2900K PD_PS_2900K PE_PS_2900K

Příloha L – Vypočítané poměrné chyby UGR.

Tab. P - 35. Poměrné chyby vypočítaných UGR- zdroj oslnění S1, náhradní teplota chromatičnosti 7000 K, horizontální směr pohledu.

Pozice	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)	UGR _R (-)	UGR _P (-)	δ_{50_cs} (%)	δ_{50_pj} (%)	δ_{FY} (%)	$\delta_{50_pj_MOD}$ (%)	δ_R (%)
A	22,080	22,108	23,219	22,137	22,4	18,806	17,4	17,6	23,5	17,7	19,1
B	20,838	20,845	22,017	20,852	22,5	18,613	12,0	12,0	18,3	12,0	20,9
C	17,866	17,874	17,057	17,883	20,0	16,823	6,2	6,2	1,4	6,3	18,9
D	15,222	15,232	14,470	15,242	17,5	14,742	3,3	3,3	-1,8	3,4	18,7
E	12,057	12,068	11,691	12,081	15,0	13,581	-11,2	-11,1	-13,9	-11,0	10,5

Tab. P - 36. Poměrné chyby vypočítaných UGR- zdroj oslnění S1, náhradní teplota chromatičnosti 7000 K, zvýšený směr pohledu.

Pozice	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)	UGR _R (-)	UGR _P (-)	δ_{50_cs} (%)	δ_{50_pj} (%)	δ_{FY} (%)	$\delta_{50_pj_MOD}$ (%)	δ_R (%)
A	27,753	27,780	28,417	27,810	23,9	23,258	19,3	19,4	22,2	19,6	2,8
B	26,418	26,424	26,637	26,431	24,0	20,839	26,8	26,8	27,8	26,8	15,2
C	22,451	22,459	22,279	22,468	21,8	16,968	32,3	32,4	31,3	32,4	28,5
D	18,981	18,990	19,369	19,001	19,0	13,532	40,3	40,3	43,1	40,4	40,4
E	15,747	15,758	15,005	15,771	16,6	12,226	28,8	28,9	22,7	29,0	35,8

Tab. P - 37. Poměrné chyby vypočítaných UGR- zdroj oslnění S1, náhradní teplota chromatičnosti 7000 K, přímý pohled do zdroje oslnění.

Pozice	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)	UGR _R (-)	UGR _P (-)	δ_{50_cs} (%)	δ_{50_pj} (%)	δ_{FY} (%)	$\delta_{50_pj_MOD}$ (%)	δ_R (%)
A	32,042	32,070	32,071	32,099	24,6	28,435	12,7	12,8	12,8	12,9	-13,5
B	31,407	31,414	31,358	31,421	24,6	24,903	26,1	26,1	25,9	26,2	-1,2
C	29,946	29,955	29,291	29,964	22,2	21,710	37,9	38,0	34,9	38,0	2,3
D	28,219	28,229	26,894	28,239	19,2	18,613	51,6	51,7	44,5	51,7	3,2
E	26,276	26,287	25,246	26,300	16,3	16,774	56,6	56,7	50,5	56,8	-2,8

Tab. P - 38. Poměrné chyby vypočítaných UGR- zdroj oslnění S1, náhradní teplota chromatičnosti 2900 K, horizontální směr pohledu.

Pozice	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)	UGR _R (-)	UGR _P (-)	δ_{50_cs} (%)	δ_{50_pj} (%)	δ_{FY} (%)	$\delta_{50_pj_MOD}$ (%)	δ_R (%)
A	22,681	22,713	21,724	22,748	22,4	22,726	-0,2	-0,1	-4,4	0,1	-1,4
B	21,092	21,098	20,307	21,105	22,5	20,790	1,4	1,5	-2,3	1,5	8,2
C	18,005	18,006	17,257	18,007	20,0	18,032	-0,2	-0,1	-4,3	-0,1	10,9
D	15,037	15,042	14,494	15,080	17,5	14,935	0,7	0,7	-3,0	1,0	17,2
E	12,234	12,243	10,220	12,254	15,0	12,903	-5,2	-5,1	-20,8	-5,0	16,3

Tab. P - 39. Poměrné chyby vypočítaných UGR- zdroj oslnění S1, náhradní teplota chromatičnosti 2900 K, zvýšený směr pohledu.

Pozice	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)	UGR _R (-)	UGR _P (-)	δ_{50_cs} (%)	δ_{50_pj} (%)	δ_{FY} (%)	$\delta_{50_pj_MOD}$ (%)	δ_R (%)
A	28,459	28,492	26,766	28,526	23,9	25,097	13,4	13,5	6,7	13,7	-4,8
B	26,663	26,670	26,148	26,677	24,0	23,161	15,1	15,1	12,9	15,2	3,6
C	22,597	22,598	22,075	22,599	21,8	18,468	22,4	22,4	19,5	22,4	18,0
D	19,128	19,134	18,522	19,171	19,0	14,500	31,9	32,0	27,7	32,2	31,0
E	15,923	15,932	14,220	15,943	16,6	12,274	29,7	29,8	15,9	29,9	35,2

Tab. P - 40. Poměrné chyby vypočítaných UGR- zdroj oslnění S1, náhradní teplota chromatičnosti 2900 K, přímý pohled do zdroje oslnění.

Pozice	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)	UGR _R (-)	UGR _P (-)	δ_{50_cs} (%)	δ_{50_pj} (%)	δ_{FY} (%)	$\delta_{50_pj_MOD}$ (%)	δ_R (%)
A	32,764	32,796	31,137	32,830	24,6	27,032	21,2	21,3	15,2	21,4	-9,0
B	31,669	31,676	30,412	31,683	24,6	24,371	29,9	30,0	24,8	30,0	0,9
C	30,128	30,129	28,510	30,130	22,2	19,484	54,6	54,6	46,3	54,6	13,9
D	28,385	28,390	26,637	28,428	19,2	16,919	67,8	67,8	57,4	68,0	13,5
E	26,461	26,470	23,561	26,481	16,3	15,323	72,7	72,8	53,8	72,8	6,4

Tab. P - 41. Poměrné chyby vypočítaných UGR- zdroj oslnění S2, náhradní teplota chromatičnosti 7000 K, horizontální směr pohledu.

Pozice	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)	UGR _R (-)	UGR _P (-)	δ_{50_cs} (%)	δ_{50_pj} (%)	δ_{FY} (%)	$\delta_{50_pj_MOD}$ (%)	δ_R (%)
A	22,076	23,545	22,021	25,051	24,5	17,935	23,1	31,3	22,8	39,7	36,6
B	22,710	24,175	22,883	25,678	25,1	20,645	10,0	17,1	10,8	24,4	21,6
C	21,275	22,757	21,571	24,278	25,0	19,145	11,1	18,9	12,7	26,8	30,6
D	18,636	20,111	18,056	21,629	22,4	17,306	7,7	16,2	4,3	25,0	29,4
E	15,176	16,616	15,093	18,101	19,6	14,403	5,4	15,4	4,8	25,7	36,1

Tab. P - 42. Poměrné chyby vypočítaných UGR- zdroj oslnění S2, náhradní teplota chromatičnosti 7000 K, zvýšený směr pohledu.

Pozice	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)	UGR _R (-)	UGR _P (-)	δ_{50_cs} (%)	δ_{50_pj} (%)	δ_{FY} (%)	$\delta_{50_pj_MOD}$ (%)	δ_R (%)
A	27,049	28,518	26,708	30,024	26,2	22,048	22,7	29,3	21,1	36,2	18,8
B	29,030	30,495	27,511	31,998	26,7	25,048	15,9	21,7	9,8	27,7	6,6
C	26,925	28,407	26,532	29,927	26,7	20,839	29,2	36,3	27,3	43,6	28,1
D	23,220	24,694	24,072	26,213	24,2	16,242	43,0	52,0	48,2	61,4	49,0
E	19,363	20,802	19,386	22,288	21,2	14,161	36,7	46,9	36,9	57,4	49,7

Tab. P - 43. Poměrné chyby vypočítaných UGR- zdroj oslnění S2, náhradní teplota chromatičnosti 7000 K, přímý pohled do zdroje oslnění.

Pozice	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)	UGR _R (-)	UGR _P (-)	δ_{50_cs} (%)	δ_{50_pj} (%)	δ_{FY} (%)	$\delta_{50_pj_MOD}$ (%)	δ_R (%)
A	31,818	33,287	31,396	34,793	26,8	27,855	14,2	19,5	12,7	24,9	-3,8
B	33,371	34,836	32,966	36,339	27,5	28,919	15,4	20,5	14,0	25,7	-4,9
C	31,866	33,348	30,825	34,869	27,4	25,194	26,5	32,4	22,4	38,4	8,8
D	30,463	31,938	29,476	33,456	24,6	22,629	34,6	41,1	30,3	47,8	8,7
E	28,403	29,842	27,353	31,327	21,2	19,677	44,3	51,7	39,0	59,2	7,7

Tab. P - 44. Poměrné chyby vypočítaných UGR- zdroj oslnění S2, náhradní teplota chromatičnosti 2900 K, horizontální směr pohledu.

Pozice	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)	UGR _R (-)	UGR _P (-)	δ_{50_cs} (%)	δ_{50_pj} (%)	δ_{FY} (%)	$\delta_{50_pj_MOD}$ (%)	δ_R (%)
A	22,274	23,775	22,318	25,312	24,5	20,8871	6,6	13,8	6,8	21,2	17,3
B	22,127	23,607	21,837	25,121	25,1	22,09677	0,1	6,8	-1,2	13,7	13,6
C	21,523	23,031	21,252	24,574	25	20,54839	4,7	12,1	3,4	19,6	21,7
D	18,915	20,332	18,424	21,846	22,4	17,06452	10,8	19,1	8,0	28,0	31,3
E	15,509	16,938	14,655	18,406	19,6	13,91935	11,4	21,7	5,3	32,2	40,8

Tab. P - 45. Poměrné chyby vypočítaných UGR- zdroj oslnění S2, náhradní teplota chromatičnosti 2900 K, zvýšený směr pohledu.

Pozice	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)	UGR _R (-)	UGR _P (-)	δ_{50_cs} (%)	δ_{50_pj} (%)	δ_{FY} (%)	$\delta_{50_pj_MOD}$ (%)	δ_R (%)
A	27,246	28,748	26,713	30,285	26,3	24,371	11,8	18,0	9,6	24,3	7,9
B	28,457	29,937	27,985	31,452	27,0	26,694	6,6	12,2	4,8	17,8	1,1
C	27,184	28,692	26,790	30,235	26,8	22,871	18,9	25,4	17,1	32,2	17,2
D	23,509	24,927	23,103	26,441	24,4	17,887	31,4	39,4	29,2	47,8	36,4
E	19,661	21,090	19,364	22,558	21,4	14,161	38,8	48,9	36,7	59,3	51,1

Tab. P - 46. Poměrné chyby vypočítaných UGR- zdroj oslnění S2, náhradní teplota chromatičnosti 2900 K, přímý pohled do zdroje oslnění.

Pozice	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)	UGR _R (-)	UGR _P (-)	δ_{50_cs} (%)	δ_{50_pj} (%)	δ_{FY} (%)	$\delta_{50_pj_MOD}$ (%)	δ_R (%)
A	32,026	33,528	31,296	35,065	26,8	26,984	18,7	32,8	31,1	32,8	24,6
B	32,811	34,291	31,942	35,805	27,5	27,516	19,2	31,7	30,4	31,7	24,6
C	32,137	33,645	31,624	35,189	27,4	24,226	32,7	30,1	28,5	30,1	22,2
D	30,751	32,169	29,367	33,683	24,6	20,694	48,6	28,4	26,6	28,4	19,2
E	28,700	30,129	26,860	31,597	21,2	18,468	55,4	26,5	23,6	26,5	16,3

Tab. P - 47. Poměrné chyby vypočítaných UGR- zdroj oslnění S3, náhradní teplota chromatičnosti 7000 K, horizontální směr pohledu.

Pozice	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)	UGR _R (-)	UGR _P (-)	δ_{50_cs} (%)	δ_{50_pj} (%)	δ_{FY} (%)	$\delta_{50_pj_MOD}$ (%)	δ_R (%)
A	19,667	20,836	18,943	22,062	22,1	16,048	22,5	29,8	18,0	37,5	37,7
B	22,046	23,281	21,081	24,572	25,0	20,016	10,1	16,3	5,3	22,8	24,9
C	22,183	23,348	21,774	24,562	25,3	21,516	3,1	8,5	1,2	14,2	17,6
D	21,700	22,915	22,100	24,185	25,1	20,016	8,4	14,5	10,4	20,8	25,4
E	18,694	19,913	18,624	21,192	22,3	16,774	11,4	18,7	11,0	26,3	32,9

Tab. P - 48. Poměrné chyby vypočítaných UGR- zdroj oslnění S3, náhradní teplota chromatičnosti 7000 K, zvýšený směr pohledu.

Pozice	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)	UGR _R (-)	UGR _P (-)	δ_{50_cs} (%)	δ_{50_pj} (%)	δ_{FY} (%)	$\delta_{50_pj_MOD}$ (%)	δ_R (%)
A	23,828	24,997	22,603	26,222	23,9	19,387	22,9	28,9	16,6	35,3	23,3
B	27,477	28,712	26,356	30,003	26,7	22,339	23,0	28,5	18,0	34,3	19,5
C	28,661	29,826	26,795	31,040	27,1	24,177	18,5	23,4	10,8	28,4	12,1
D	27,348	28,564	26,121	29,833	26,8	21,613	26,5	32,2	20,9	38,0	24,0
E	23,380	24,600	23,212	25,879	24,0	18,226	28,3	35,0	27,4	42,0	31,7

Tab. P - 49. Poměrné chyby vypočítaných UGR- zdroj oslnění S3, náhradní teplota chromatičnosti 7000 K, přímý pohled do zdroje oslnění.

Pozice	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)	UGR _R (-)	UGR _P (-)	δ_{50_cs} (%)	δ_{50_pj} (%)	δ_{FY} (%)	$\delta_{50_pj_MOD}$ (%)	δ_R (%)
A	30,879	32,048	30,074	33,274	24,4	24,371	26,7	31,5	23,4	36,5	0,1
B	31,992	33,228	30,849	34,518	27,4	26,452	20,9	25,6	16,6	30,5	3,6
C	32,769	33,933	30,848	35,148	28,0	27,565	18,9	23,1	11,9	27,5	1,6
D	32,160	33,376	32,355	34,645	27,4	23,935	34,4	39,4	35,2	44,7	14,5
E	30,454	31,673	29,280	32,952	24,4	22,677	34,3	39,7	29,1	45,3	7,6

Tab. P - 50. Poměrné chyby vypočítaných UGR- zdroj oslnění S3, náhradní teplota chromatičnosti 2900 K, horizontální směr pohledu.

Pozice	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)	UGR _R (-)	UGR _P (-)	δ_{50_cs} (%)	δ_{50_pj} (%)	δ_{FY} (%)	$\delta_{50_pj_MOD}$ (%)	δ_R (%)
A	19,937	21,087	19,009	22,284	22,1	17,83871	11,8	18,2	6,6	24,9	23,9
B	22,325	23,534	21,241	24,787	25	19,91935	12,1	18,1	6,6	24,4	25,5
C	22,467	23,711	21,421	25,000	25,3	21,95161	2,3	8,0	-2,4	13,9	15,3
D	21,951	23,149	21,466	24,392	25,1	19,24194	14,1	20,3	11,6	26,8	30,4
E	18,984	20,159	17,572	21,438	22,3	17,35484	9,4	16,2	1,3	23,5	28,5

Tab. P - 51. Poměrné chyby vypočítaných UGR- zdroj oslnění S3, náhradní teplota chromatičnosti 2900 K, zvýšený směr pohledu.

Pozice	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)	UGR _R (-)	UGR _P (-)	δ_{50_cs} (%)	δ_{50_pj} (%)	δ_{FY} (%)	$\delta_{50_pj_MOD}$ (%)	δ_R (%)
A	24,092	25,242	22,144	26,439	23,9	20,258	18,9	24,6	9,3	30,5	18,0
B	27,758	28,966	26,807	30,220	26,7	23,500	18,1	23,3	14,1	28,6	13,6
C	28,927	30,170	28,464	31,460	27,1	25,484	13,5	18,4	11,7	23,5	6,3
D	27,594	28,792	26,748	30,035	26,8	22,919	20,4	25,6	16,7	31,0	16,9
E	23,669	24,844	22,737	26,123	24,0	18,177	30,2	36,7	25,1	43,7	32,0

Tab. P - 52. Poměrné chyby vypočítaných UGR- zdroj oslnění S3, náhradní teplota chromatičnosti 2900 K, přímý pohled do zdroje oslnění.

Pozice	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)	UGR _R (-)	UGR _P (-)	δ_{50_cs} (%)	δ_{50_pj} (%)	δ_{FY} (%)	$\delta_{50_pj_MOD}$ (%)	δ_R (%)
A	31,160	32,310	28,986	33,507	24,4	22,484	38,6	32,8	31,1	32,8	24,6
B	32,285	33,494	31,469	34,748	27,4	24,274	33,0	31,7	30,4	31,7	24,6
C	33,064	34,307	31,798	35,597	28,0	25,919	27,6	30,1	28,5	30,1	22,2
D	32,415	33,614	30,624	34,856	27,4	23,258	39,4	28,4	26,6	28,4	19,2
E	30,744	31,919	28,802	33,198	24,4	21,903	40,4	26,5	23,6	26,5	16,3

Tab. P - 53. Poměrné chyby vypočítaných UGR- zdroj oslnění S4, náhradní teplota chromatičnosti 7000 K, horizontální směr pohledu.

Pozice	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)	UGR _R (-)	UGR _P (-)	δ_{50_cs} (%)	δ_{50_pj} (%)	δ_{FY} (%)	$\delta_{50_pj_MOD}$ (%)	δ_R (%)
A	15,924	17,691	14,652	19,562	20,8	14,40323	10,6	22,8	1,7	35,8	44,4
B	19,375	21,330	18,243	23,384	23,7	17,01613	13,9	25,4	7,2	37,4	39,3
C	22,272	24,080	21,709	25,966	26,2	19,3871	14,9	24,2	12,0	33,9	35,1
D	22,201	24,125	21,461	26,128	26,2	21,75806	2,0	10,9	-1,4	20,1	20,4
E	21,691	23,576	20,749	25,546	25,8	21,03226	3,1	12,1	-1,3	21,5	22,7

Tab. P - 54. Poměrné chyby vypočítaných UGR- zdroj oslnění S4, náhradní teplota chromatičnosti 7000 K, zvýšený směr pohledu.

Pozice	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)	UGR _R (-)	UGR _P (-)	δ_{50_cs} (%)	δ_{50_pj} (%)	δ_{FY} (%)	$\delta_{50_pj_MOD}$ (%)	δ_R (%)
A	19,646	21,413	18,688	23,284	22,5	16,29032	20,6	31,4	14,7	42,9	38,1
B	23,883	25,838	22,879	27,891	25,5	19	25,7	36,0	20,4	46,8	34,2
C	27,813	29,620	26,822	31,507	27,9	21,90323	27,0	35,2	22,5	43,8	27,4
D	28,524	30,448	27,135	32,451	28	25,3871	12,4	19,9	6,9	27,8	10,3
E	27,394	29,279	26,104	31,249	27,4	22,87097	19,8	28,0	14,1	36,6	19,8

Tab. P - 55. Poměrné chyby vypočítaných UGR- zdroj oslnění S4, náhradní teplota chromatičnosti 7000 K, přímý pohled do zdroje oslnění.

Pozice	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)	UGR _R (-)	UGR _P (-)	δ_{50_cs} (%)	δ_{50_pj} (%)	δ_{FY} (%)	$\delta_{50_pj_MOD}$ (%)	δ_R (%)
A	28,554	30,321	27,169	32,19153	22,5	21,710	31,5	39,7	25,1	48,3	3,6
B	30,384	32,339	28,316	34,39298	25,9	24,177	25,7	33,8	17,1	42,3	7,1
C	32,074	33,882	31,021	35,76802	28,6	25,677	24,9	32,0	20,8	39,3	11,4
D	32,862	34,786	31,306	36,78906	28,3	27,274	20,5	27,5	14,8	34,9	3,8
E	32,021	33,906	31,143	35,87624	28	26,113	22,6	29,8	19,3	37,4	7,2

Tab. P - 56. Poměrné chyby vypočítaných UGR- zdroj oslnění S4, náhradní teplota chromatičnosti 2900 K, horizontální směr pohledu.

Pozice	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)	UGR _R (-)	UGR _P (-)	δ_{50_cs} (%)	δ_{50_pj} (%)	δ_{FY} (%)	$\delta_{50_pj_MOD}$ (%)	δ_R (%)
A	16,479	18,233	14,475	20,074	20,8	15,41935	6,9	18,2	-6,1	30,2	34,9
B	20,334	22,276	18,290	24,302	23,7	17,06452	19,2	30,5	7,2	42,4	38,9
C	22,396	24,459	21,157	26,600	26,2	19,82258	13,0	23,4	6,7	34,2	32,2
D	22,299	24,351	21,485	26,476	26,2	21,80645	2,3	11,7	-1,5	21,4	20,1
E	21,779	23,802	20,682	25,903	25,8	21,27419	2,4	11,9	-2,8	21,8	21,3

Tab. P - 57. Poměrné chyby vypočítaných UGR- zdroj oslnění S4, náhradní teplota chromatičnosti 2900 K, zvýšený směr pohledu.

Pozice	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)	UGR _R (-)	UGR _P (-)	δ_{50_cs} (%)	δ_{50_pj} (%)	δ_{FY} (%)	$\delta_{50_pj_MOD}$ (%)	δ_R (%)
A	20,229	21,983	18,016	23,824	22,5	17,694	14,3	24,2	1,8	34,6	27,2
B	24,837	26,780	22,764	28,805	25,5	19,871	25,0	34,8	14,6	45,0	28,3
C	27,935	29,998	26,726	32,139	27,9	22,000	27,0	36,4	21,5	46,1	26,8
D	28,612	30,664	27,534	32,789	28,0	26,597	7,6	15,3	3,5	23,3	5,3
E	27,483	29,506	25,907	31,606	27,4	22,339	23,0	32,1	16,0	41,5	22,7

Tab. P - 58. Poměrné chyby vypočítaných UGR- zdroj oslnění S4, náhradní teplota chromatičnosti 2900 K, přímý pohled do zdroje oslnění.

Pozice	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)	UGR _R (-)	UGR _P (-)	δ_{50_cs} (%)	δ_{50_pj} (%)	δ_{FY} (%)	$\delta_{50_pj_MOD}$ (%)	δ_R (%)
A	29,133	30,887	26,697	32,728	22,5	20,403	42,8	32,8	31,1	32,8	24,6
B	31,368	33,311	28,740	35,336	25,9	22,387	40,1	31,7	30,4	31,7	24,6
C	32,209	34,272	30,727	36,413	28,6	24,129	33,5	30,1	28,5	30,1	22,2
D	32,953	35,005	31,661	37,130	28,3	26,452	24,6	28,4	26,6	28,4	19,2
E	32,114	34,137	30,696	36,238	28,0	26,065	23,2	26,5	23,6	26,5	16,3

Tab. P - 59. Poměrné chyby vypočítaných UGR- zdroj oslnění S5, náhradní teplota chromatičnosti 7000 K, horizontální směr pohledu.

Pozice	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)	UGR _R (-)	UGR _P (-)	δ_{50_cs} (%)	δ_{50_pj} (%)	δ_{FY} (%)	$\delta_{50_pj_MOD}$ (%)	δ_R (%)
A	13,381	14,116	11,462	14,910	18,5	13,048	2,6	8,2	-12,2	14,3	41,8
B	16,079	17,033	14,613	18,059	20,8	14,548	10,5	17,1	0,4	24,1	43,0
C	19,220	20,197	17,829	21,243	23,3	16,145	19,0	25,1	10,4	31,6	44,3
D	21,554	22,522	20,605	23,552	25,7	20,161	6,9	11,7	2,2	16,8	27,5
E	21,900	22,714	20,409	23,579	25,5	22,097	-0,9	2,8	-7,6	6,7	15,4

Tab. P - 60. Poměrné chyby vypočítaných UGR- zdroj oslnění S5, náhradní teplota chromatičnosti 7000 K, zvýšený směr pohledu.

Pozice	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)	UGR _R (-)	UGR _P (-)	δ_{50_cs} (%)	δ_{50_pj} (%)	δ_{FY} (%)	$\delta_{50_pj_MOD}$ (%)	δ_R (%)
A	16,675	17,410	14,362	18,204	20,1	13,629	22,4	27,7	5,4	33,6	47,5
B	19,940	20,893	18,533	21,919	22,4	15,419	29,3	35,5	20,2	42,2	45,3
C	23,862	24,839	22,428	25,884	25,2	17,065	39,8	45,6	31,4	51,7	47,7
D	26,902	27,870	25,586	28,900	27,2	22,000	22,3	26,7	16,3	31,4	23,6
E	28,405	29,219	27,382	30,084	27,0	25,532	11,2	14,4	7,2	17,8	5,7

Tab. P - 61. Poměrné chyby vypočítaných UGR- zdroj oslnění S5, náhradní teplota chromatičnosti 7000 K, přímý pohled do zdroje oslnění.

Pozice	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)	UGR _R (-)	UGR _P (-)	δ_{50_cs} (%)	δ_{50_pj} (%)	δ_{FY} (%)	$\delta_{50_pj_MOD}$ (%)	δ_R (%)
A	26,985	27,719	24,721	28,513	19,8	18,032	49,6	53,7	37,1	58,1	9,8
B	28,138	29,091	26,356	30,117	22,5	18,855	49,2	54,3	39,8	59,7	19,3
C	30,030	31,007	28,698	32,052	25,4	20,597	45,8	50,5	39,3	55,6	23,3
D	31,571	32,539	30,331	33,569	27,8	23,742	33,0	37,1	27,8	41,4	17,1
E	32,315	33,129	31,202	33,995	27,7	27,023	19,6	22,6	15,5	25,8	2,5

Tab. P - 62. Poměrné chyby vypočítaných UGR- zdroj oslnění S5, náhradní teplota chromatičnosti 2900 K, horizontální směr pohledu.

Pozice	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)	UGR _R (-)	UGR _P (-)	δ_{50_cs} (%)	δ_{50_pj} (%)	δ_{FY} (%)	$\delta_{50_pj_MOD}$ (%)	δ_R (%)
A	13,253	13,987	11,380	14,782	18,5	13,19355	0,5	6,0	-13,7	12,0	40,2
B	15,932	16,886	14,709	17,912	20,8	14,25806	11,7	18,4	3,2	25,6	45,9
C	19,118	20,095	18,090	21,140	23,3	17,35484	10,2	15,8	4,2	21,8	34,3
D	21,446	22,414	20,496	23,444	25,7	20,25806	5,9	10,6	1,2	15,7	26,9
E	21,746	22,561	20,725	23,426	25,5	22,82258	-4,7	-1,1	-9,2	2,6	11,7

Tab. P - 63. Poměrné chyby vypočítaných UGR- zdroj oslnění S5, náhradní teplota chromatičnosti 2900 K, zvýšený směr pohledu.

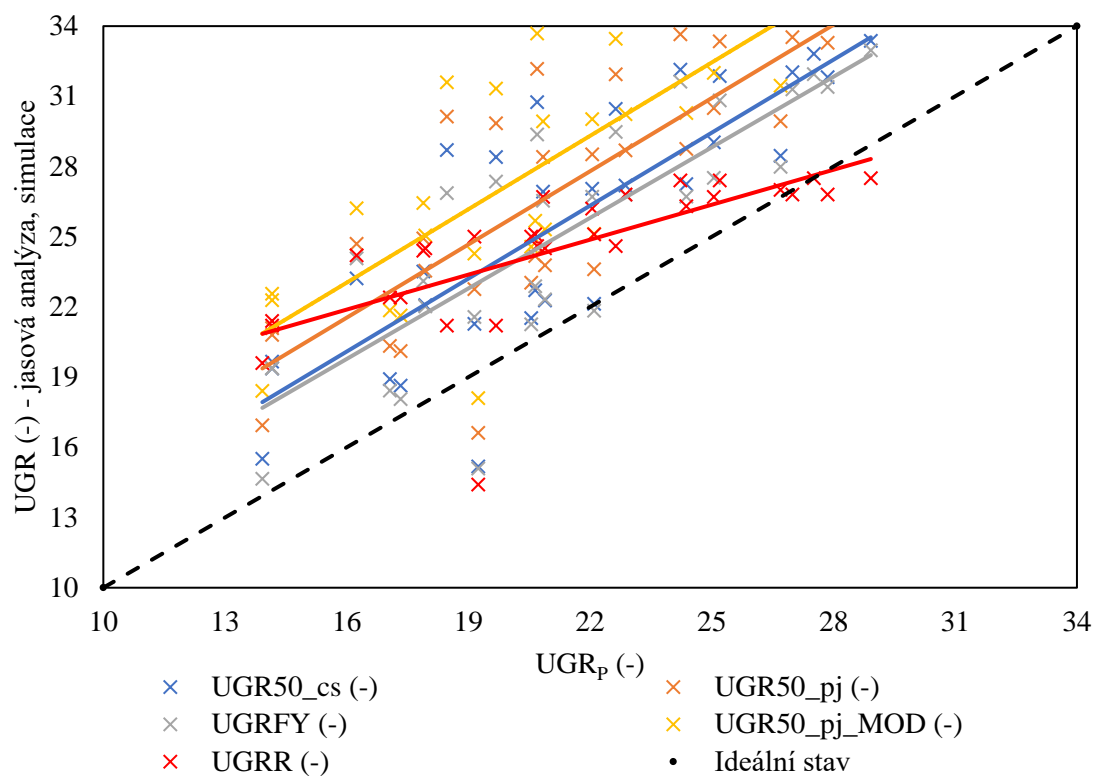
Pozice	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)	UGR _R (-)	UGR _P (-)	δ_{50_cs} (%)	δ_{50_pj} (%)	δ_{FY} (%)	$\delta_{50_pj_MOD}$ (%)	δ_R (%)
A	16,263	17,246	14,481	18,305	20,1	14,742	10,3	17,0	-1,8	24,2	36,3
B	20,162	21,339	18,572	22,594	22,4	16,387	23,0	30,2	13,3	37,9	36,7
C	24,110	25,268	22,646	26,498	25,2	17,355	38,9	45,6	30,5	52,7	45,2
D	27,105	28,508	25,796	29,988	27,2	22,532	20,3	26,5	14,5	33,1	20,7
E	28,580	29,735	27,249	30,957	27,0	25,581	11,7	16,2	6,5	21,0	5,5

Tab. P - 64. Poměrné chyby vypočítaných UGR- zdroj oslnění S5, náhradní teplota chromatičnosti 2900 K, přímý pohled do zdroje oslnění.

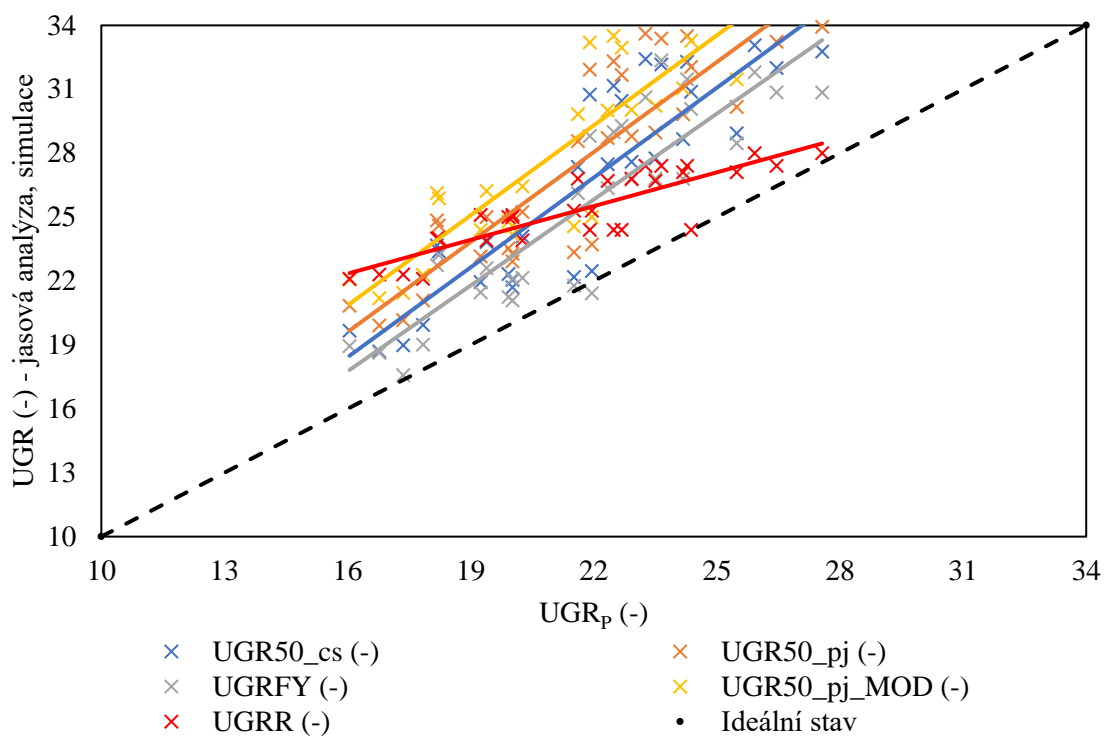
Pozice	UGR _{50_cs} (-)	UGR _{50_pj} (-)	UGR _{FY} (-)	UGR _{50_pj_MOD} (-)	UGR _R (-)	UGR _P (-)	δ_{50_cs} (%)	δ_{50_pj} (%)	δ_{FY} (%)	$\delta_{50_pj_MOD}$ (%)	δ_R (%)
A	26,648	27,631	24,586	28,689	19,8	16,726	59,3	32,8	31,1	32,8	24,6
B	28,413	29,590	26,548	30,845	22,5	17,839	59,3	31,7	30,4	31,7	24,6
C	30,275	31,434	28,532	32,664	25,4	20,065	50,9	30,1	28,5	30,1	22,2
D	31,788	33,191	30,253	34,671	27,8	23,258	36,7	28,4	26,6	28,4	19,2
E	32,500	33,655	30,872	34,877	27,7	27,323	18,9	26,5	23,6	26,5	16,3

Příloha M – Grafické závislosti vypočítaných hodnot oslnění od neuniformních zdrojů oslnění na subjektivním hodnocení oslnění.

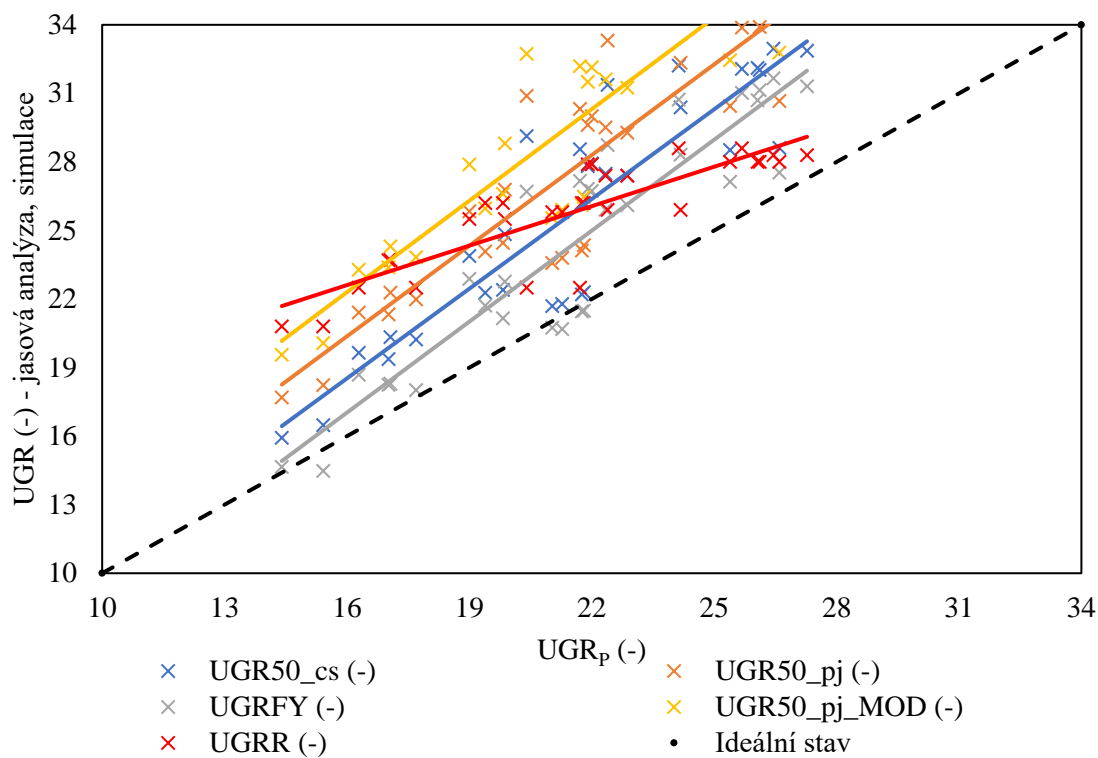
Neuniformní zdroj oslnění S2.



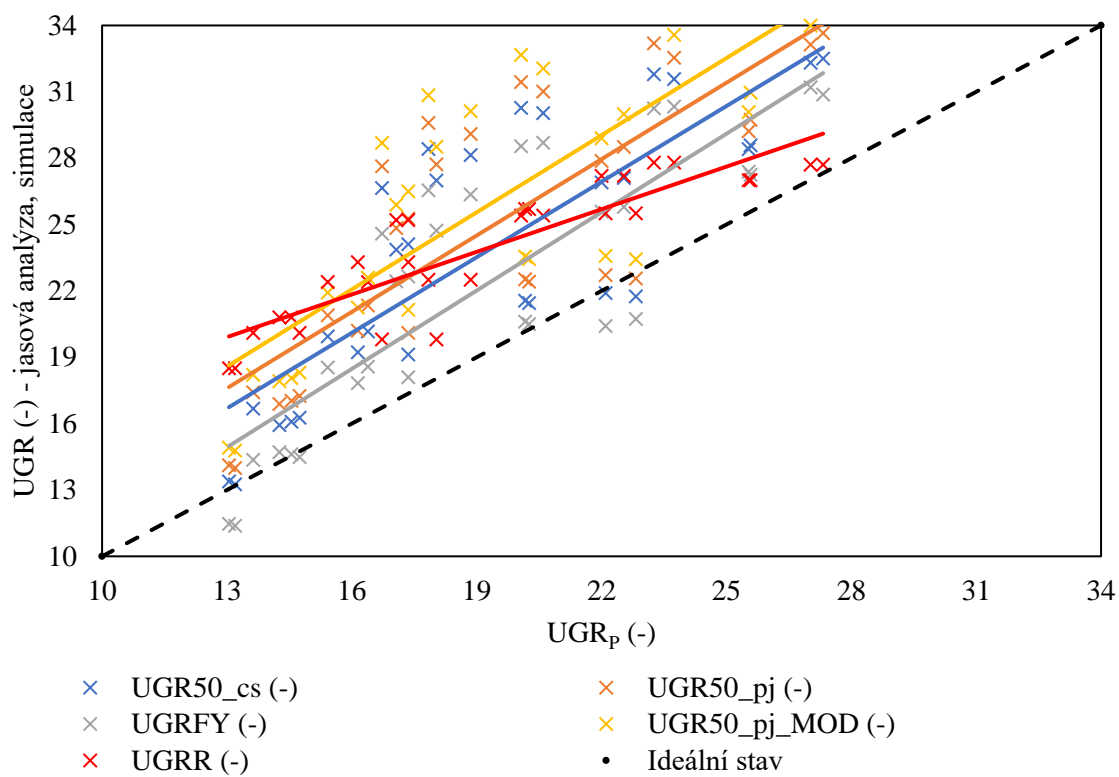
Neuniformní zdroj oslnění S3.



Neuniformní zdroj oslnění S4.



Neuniformní zdroj oslnění S5.



Příloha N – Výpočty UGR dle modifikovaného vztahu nUGR

Tab. P - 65. Modifikovaná metoda výpočtu UGR - zdroj oslnění S2, náhradní teplota chromatičnosti 7000 K, horizontální směr pohledu.

Pozice	$L_{z_50_cs}$ (cd·m-2)	L_{z_max} (cd·m-2)	U (-)	$f(U)$ (-)	nUGR (-)
A	10045,885	26512,768	0,379	0,47	12,808
B	11459,584	29546,822	0,388	0,47	13,238
C	9873,038	26635,250	0,371	0,48	12,250
D	9422,044	26763,332	0,352	0,49	10,429
E	8659,893	25751,980	0,336	0,50	8,042

Tab. P - 66. Modifikovaná metoda výpočtu UGR - zdroj oslnění S2, náhradní teplota chromatičnosti 7000 K, zvýšený směr pohledu.

Pozice	$L_{z_50_cs}$ (cd·m-2)	L_{z_max} (cd·m-2)	U (-)	$f(U)$ (-)	nUGR (-)
A	10045,885	26512,768	0,379	0,47	16,351
B	11459,584	29546,822	0,388	0,47	17,741
C	9873,038	26635,250	0,371	0,48	16,275
D	9422,044	26763,332	0,352	0,49	13,695
E	8659,893	25751,980	0,336	0,50	11,025

Tab. P - 67. Modifikovaná metoda výpočtu UGR - zdroj oslnění S2, náhradní teplota chromatičnosti 7000 K, přímý pohled do zdroje oslnění.

Pozice	$L_{z_50_cs}$ (cd·m-2)	L_{z_max} (cd·m-2)	U (-)	$f(U)$ (-)	nUGR (-)
A	10045,885	26512,768	0,379	0,47	19,749
B	11459,584	29546,822	0,388	0,47	20,834
C	9873,038	26635,250	0,371	0,48	19,796
D	9422,044	26763,332	0,352	0,49	18,855
E	8659,893	25751,980	0,336	0,50	17,466

Tab. P - 68. Modifikovaná metoda výpočtu UGR - zdroj oslnění S2, náhradní teplota chromatičnosti 2900 K, horizontální směr pohledu.,

Pozice	$L_{z_50_cs}$ (cd·m-2)	L_{z_max} (cd·m-2)	U (-)	$f(U)$ (-)	nUGR (-)
A	10549,001	30298,143	0,348	0,49	13,020
B	10845,495	29692,096	0,365	0,48	12,877
C	10487,461	30472,424	0,344	0,49	12,494
D	10083,209	30063,381	0,335	0,50	10,688
E	9249,226	27590,127	0,335	0,50	8,295

Tab. P - 69. Modifikovaná metoda výpočtu UGR - zdroj oslnění S2, náhradní teplota chromatičnosti 2900 K, zvýšený směr pohledu.

Pozice	$L_{z_{50_{cs}}}$ (cd·m ⁻²)	$L_{z_{max}}$ (cd·m ⁻²)	U (-)	$f(U)$ (-)	nUGR (-)
A	10549,001	30298,143	0,348	0,49	16,563
B	10845,495	29692,096	0,365	0,48	17,388
C	10487,461	30472,424	0,344	0,49	16,528
D	10083,209	30063,381	0,335	0,50	13,962
E	9249,226	27590,127	0,335	0,50	11,253

Tab. P - 70. Modifikovaná metoda výpočtu UGR - zdroj oslnění S2, náhradní teplota chromatičnosti 2900 K, přímý pohled do zdroje oslnění.

Pozice	$L_{z_{50_{cs}}}$ (cd·m ⁻²)	$L_{z_{max}}$ (cd·m ⁻²)	U (-)	$f(U)$ (-)	nUGR (-)
A	10549,001	30298,143	0,348	0,49	19,969
B	10845,495	29692,096	0,365	0,48	20,490
C	10487,461	30472,424	0,344	0,49	20,057
D	10083,209	30063,381	0,335	0,50	19,122
E	9249,226	27590,127	0,335	0,50	17,694

Tab. P - 71. Modifikovaná metoda výpočtu UGR - zdroj oslnění S3, náhradní teplota chromatičnosti 7000 K, horizontální směr pohledu.

Pozice	$L_{z_{50_{cs}}}$ (cd·m ⁻²)	$L_{z_{max}}$ (cd·m ⁻²)	U (-)	$f(U)$ (-)	nUGR (-)
A	10009,332	23738,418	0,422	0,46	12,808
B	9933,713	22628,119	0,439	0,45	13,238
C	10123,380	22903,416	0,442	0,45	12,250
D	10048,424	23808,805	0,422	0,45	10,429
E	9380,143	22410,121	0,419	0,46	8,042

Tab. P - 72. Modifikovaná metoda výpočtu UGR - zdroj oslnění S3, náhradní teplota chromatičnosti 7000 K, zvýšený směr pohledu.

Pozice	$L_{z_{50_{cs}}}$ (cd·m ⁻²)	$L_{z_{max}}$ (cd·m ⁻²)	U (-)	$f(U)$ (-)	nUGR (-)
A	10009,332	23738,418	0,422	0,46	11,191
B	9933,713	22628,119	0,439	0,45	12,806
C	10123,380	22903,416	0,442	0,45	12,953
D	10048,424	23808,805	0,422	0,45	12,607
E	9380,143	22410,121	0,419	0,46	10,466

Tab. P - 73. Modifikovaná metoda výpočtu UGR - zdroj oslnění S3, náhradní teplota chromatičnosti 7000 K, přímý pohled do zdroje oslnění.

Pozice	$L_{z_50_cs}$ (cd·m ⁻²)	L_{z_max} (cd·m ⁻²)	U (-)	$f(U)$ (-)	nUGR (-)
A	10009,332	23738,418	0,422	0,46	14,155
B	9933,713	22628,119	0,439	0,45	16,676
C	10123,380	22903,416	0,442	0,45	17,569
D	10048,424	23808,805	0,422	0,45	16,631
E	9380,143	22410,121	0,419	0,46	13,805

Tab. P - 74. Modifikovaná metoda výpočtu UGR - zdroj oslnění S3, náhradní teplota chromatičnosti 2900 K, horizontální směr pohledu.

Pozice	$L_{z_50_cs}$ (cd·m ⁻²)	L_{z_max} (cd·m ⁻²)	U (-)	$f(U)$ (-)	nUGR (-)
A	10730,820	25007,178	0,429	0,45	19,179
B	10660,720	24225,629	0,440	0,45	19,893
C	10786,623	24629,053	0,438	0,45	20,495
D	10674,463	24595,127	0,434	0,45	20,060
E	9964,546	25007,178	0,398	0,46	18,845

Tab. P - 75. Modifikovaná metoda výpočtu UGR - zdroj oslnění S3, náhradní teplota chromatičnosti 2900 K, zvýšený směr pohledu.

Pozice	$L_{z_50_cs}$ (cd·m ⁻²)	L_{z_max} (cd·m ⁻²)	U (-)	$f(U)$ (-)	nUGR (-)
A	10730,820	25007,178	0,429	0,45	11,389
B	10660,720	24225,629	0,440	0,45	13,029
C	10786,623	24629,053	0,438	0,45	13,109
D	10674,463	24595,127	0,434	0,45	12,781
E	9964,546	25007,178	0,398	0,46	10,717

Tab. P - 76. Modifikovaná metoda výpočtu UGR - zdroj oslnění S3, náhradní teplota chromatičnosti 2900 K, přímý pohled do zdroje oslnění.

Pozice	$L_{z_50_cs}$ (cd·m ⁻²)	L_{z_max} (cd·m ⁻²)	U (-)	$f(U)$ (-)	nUGR (-)
A	10730,820	25007,178	0,429	0,45	14,349
B	10660,720	24225,629	0,440	0,45	16,900
C	10786,623	24629,053	0,438	0,45	17,711
D	10674,463	24595,127	0,434	0,45	16,802
E	9964,546	25007,178	0,398	0,46	14,055

Tab. P - 77. Modifikovaná metoda výpočtu UGR - zdroj oslnění S4, náhradní teplota chromatičnosti 7000 K, horizontální směr pohledu.

Pozice	$L_{z_{50_{cs}}}$ (cd·m ⁻²)	$L_{z_{max}}$ (cd·m ⁻²)	U (-)	$f(U)$ (-)	nUGR (-)
A	9297,981	29756,371	0,312	0,52	8,395
B	9922,126	30485,723	0,325	0,51	10,670
C	10459,170	30784,660	0,340	0,50	12,799
D	10768,255	31070,615	0,347	0,49	12,642
E	10548,126	31010,732	0,340	0,50	12,324

Tab. P - 78. Modifikovaná metoda výpočtu UGR - zdroj oslnění S4, náhradní teplota chromatičnosti 7000 K, zvýšený směr pohledu.

Pozice	$L_{z_{50_{cs}}}$ (cd·m ⁻²)	$L_{z_{max}}$ (cd·m ⁻²)	U (-)	$f(U)$ (-)	nUGR (-)
A	9297,981	29756,371	0,312	0,52	11,047
B	9922,126	30485,723	0,325	0,51	13,881
C	10459,170	30784,660	0,340	0,50	16,747
D	10768,255	31070,615	0,347	0,49	17,147
E	10548,126	31010,732	0,340	0,50	16,388

Tab. P - 79. Modifikovaná metoda výpočtu UGR - zdroj oslnění S4, náhradní teplota chromatičnosti 7000 K, přímý pohled do zdroje oslnění.

Pozice	$L_{z_{50_{cs}}}$ (cd·m ⁻²)	$L_{z_{max}}$ (cd·m ⁻²)	U (-)	$f(U)$ (-)	nUGR (-)
A	9297,981	29756,371	0,312	0,52	17,394
B	9922,126	30485,723	0,325	0,51	18,514
C	10459,170	30784,660	0,340	0,50	19,784
D	10768,255	31070,615	0,347	0,49	20,238
E	10548,126	31010,732	0,340	0,50	19,685

Tab. P - 80. Modifikovaná metoda výpočtu UGR - zdroj oslnění S4, náhradní teplota chromatičnosti 2900 K, horizontální směr pohledu.

Pozice	$L_{z_{50_{cs}}}$ (cd·m ⁻²)	$L_{z_{max}}$ (cd·m ⁻²)	U (-)	$f(U)$ (-)	nUGR (-)
A	10093,279	32761,316	0,308	0,52	8,830
B	11392,283	33937,012	0,336	0,50	11,334
C	10682,146	31969,285	0,334	0,50	12,727
D	10885,319	32410,127	0,336	0,50	12,663
E	10680,072	32148,748	0,332	0,50	12,323

Tab. P - 81. Modifikovaná metoda výpočtu UGR - zdroj oslnění S4, náhradní teplota chromatičnosti 2900 K, zvýšený směr pohledu.

Pozice	$L_{z_50_cs}$ (cd·m ⁻²)	L_{z_max} (cd·m ⁻²)	U (-)	$f(U)$ (-)	nUGR (-)
A	10093,279	32761,316	0,308	0,52	11,502
B	11392,283	33937,012	0,336	0,50	14,543
C	10682,146	31969,285	0,334	0,50	16,673
D	10885,319	32410,127	0,336	0,50	17,161
E	10680,072	32148,748	0,332	0,50	16,387

Tab. P - 82. Modifikovaná metoda výpočtu UGR - zdroj oslnění S4, náhradní teplota chromatičnosti 2900 K, přímý pohled do zdroje oslnění.

Pozice	$L_{z_50_cs}$ (cd·m ⁻²)	L_{z_max} (cd·m ⁻²)	U (-)	$f(U)$ (-)	nUGR (-)
A	10093,279	32761,316	0,308	0,52	17,847
B	11392,283	33937,012	0,336	0,50	19,196
C	10682,146	31969,285	0,334	0,50	19,718
D	10885,319	32410,127	0,336	0,50	20,254
E	10680,072	32148,748	0,332	0,50	19,687

Tab. P - 83. Modifikovaná metoda výpočtu UGR - zdroj oslnění S5, náhradní teplota chromatičnosti 7000 K, horizontální směr pohledu.

Pozice	$L_{z_50_cs}$ (cd·m ⁻²)	L_{z_max} (cd·m ⁻²)	U (-)	$f(U)$ (-)	nUGR (-)
A	9454,369	30452,359	0,310	0,52	7,359
B	9307,572	29388,373	0,317	0,52	9,090
C	10014,446	30043,486	0,333	0,50	11,247
D	10741,364	30996,568	0,347	0,49	12,874
E	10934,651	31082,848	0,352	0,49	13,220

Tab. P - 84. Modifikovaná metoda výpočtu UGR - zdroj oslnění S5, náhradní teplota chromatičnosti 7000 K, zvýšený směr pohledu.

Pozice	$L_{z_50_cs}$ (cd·m ⁻²)	L_{z_max} (cd·m ⁻²)	U (-)	$f(U)$ (-)	nUGR (-)
A	9454,369	30452,359	0,310	0,52	9,706
B	9307,572	29388,373	0,317	0,52	11,840
C	10014,446	30043,486	0,333	0,50	14,554
D	10741,364	30996,568	0,347	0,49	16,685
E	10934,651	31082,848	0,352	0,49	17,855

Tab. P - 85. Modifikovaná metoda výpočtu UGR - zdroj oslnění S5, náhradní teplota chromatičnosti 7000 K, přímý pohled do zdroje oslnění.

Pozice	$L_{z_{50_{cs}}}$ (cd·m ⁻²)	$L_{z_{max}}$ (cd·m ⁻²)	U (-)	$f(U)$ (-)	nUGR (-)
A	9454,369	30452,359	0,310	0,52	17,051
B	9307,572	29388,373	0,317	0,52	17,681
C	10014,446	30043,486	0,333	0,50	18,949
D	10741,364	30996,568	0,347	0,49	20,011
E	10934,651	31082,848	0,352	0,49	20,641

Tab. P - 86. Modifikovaná metoda výpočtu UGR - zdroj oslnění S5, náhradní teplota chromatičnosti 2900 K, horizontální směr pohledu.

Pozice	$L_{z_{50_{cs}}}$ (cd·m ⁻²)	$L_{z_{max}}$ (cd·m ⁻²)	U (-)	$f(U)$ (-)	nUGR (-)
A	9454,369	30281,662	0,312	0,52	7,260
B	9307,572	31058,701	0,300	0,53	9,061
C	10014,446	31604,605	0,317	0,52	11,240
D	10741,364	32457,434	0,331	0,50	12,854
E	10934,651	32681,463	0,335	0,50	13,171

Tab. P - 87. Modifikovaná metoda výpočtu UGR - zdroj oslnění S5, náhradní teplota chromatičnosti 2900 K, zvýšený směr pohledu.

Pozice	$L_{z_{50_{cs}}}$ (cd·m ⁻²)	$L_{z_{max}}$ (cd·m ⁻²)	U (-)	$f(U)$ (-)	nUGR (-)
A	9084,348	30281,662	0,300	0,53	9,272
B	9871,492	31058,701	0,318	0,52	11,830
C	10555,714	31604,605	0,334	0,50	14,597
D	11226,866	32457,434	0,346	0,49	16,511
E	11407,913	32681,463	0,349	0,49	17,735

Tab. P - 88. Modifikovaná metoda výpočtu UGR - zdroj oslnění S5, náhradní teplota chromatičnosti 2900 K, přímý pohled do zdroje oslnění.

Pozice	$L_{z_{50_{cs}}}$ (cd·m ⁻²)	$L_{z_{max}}$ (cd·m ⁻²)	U (-)	$f(U)$ (-)	nUGR (-)
A	9084,348	30281,662	0,300	0,53	16,671
B	9871,492	31058,701	0,318	0,52	17,709
C	10555,714	31604,605	0,334	0,50	18,990
D	11226,866	32457,434	0,346	0,49	19,847
E	11407,913	32681,463	0,349	0,49	20,527